

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Aplicação de sensoriamento remoto multi-escala e multi-sensor  
na detecção de lineamentos associados à tectônica rúptil em  
parte da borda sudeste da Bacia do Paraná

Eduardo Francisco Ribeiro

Orientador: Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

Co-orientador: Rômulo Machado

Monografia de Trabalho de Formatura

TF-14/07

São Paulo

2014

1

TF  
R484  
EF.a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DEDALUS - Acervo - IGC



30900032389

Aplicação de sensoriamento remoto multi-escala e multi-sensor  
na detecção de lineamentos associados à tectônica rúptil em  
parte da borda sudeste da Bacia do Paraná

Eduardo Francisco Ribeiro



Orientador: Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

Co-orientador: Rômulo Machado

Monografia de Trabalho de Formatura

TF-14/07

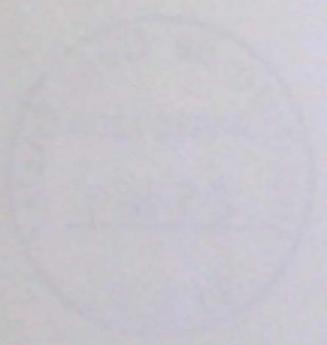
São Paulo

2014

TF  
R484  
E.F.a

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
INSTITUTO DE QUÍMICA

Aplicação de sensores de estado sólido para a detecção de íons metálicos em soluções aquosas



Coordenador de Área: Prof. Dr. ...

Coordenador de Curso: Prof. Dr. ...

Coordenador de Curso: Prof. Dr. ...

Departamento de Física e Química

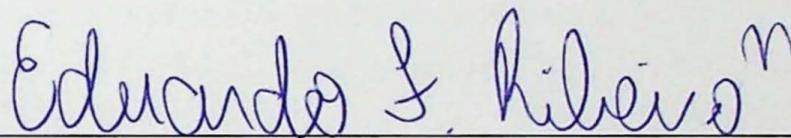
1994

1994

1994

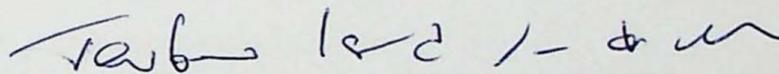
Aplicação de sensoriamento remoto multi-escala e multi-sensor  
na detecção de lineamentos associados à tectônica rúptil em  
parte da borda sudeste da Bacia do Paraná

Monografia de Trabalho de Formatura  
TF-14/07



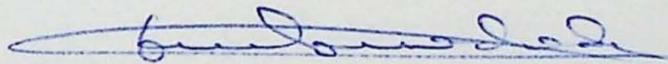
---

Eduardo Francisco Ribeiro



---

Orientador: Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida



---

Co-orientador: Rômulo Machado

São Paulo

2014

Agradecimentos

Agradeço a todos os que participaram ativamente no curso "Inicição em História e Pedagogia da Educação". A todos os familiares da qual sou grato, e em especial aos meus pais, meus irmãos, meus amigos de infância, dos quais menciono Zé Roberto, Caetano, Jairo, Jussara, Mariana e Tere, muito obrigado por me oferecerem o apoio necessário.

Agradeço também aos professores que me ensinaram e por sempre serem um exemplo de dedicação e competência, em especial os professores amigos de infância, a vida de Deus e Maria, os quais me ajudaram muito, além de eu mesmo.

Aos demais amigos que conheço de infância, quais sejam: Douglas, Ugo, André, Ricardo, José, Flávio, entre os quais sou grato, e a todos aqueles amigos que não pude mencionar aqui, agradeço a todos os que me ajudaram ao longo da vida.

Agradeço aos professores de IGO que são pessoas de muita competência, pois me ajudaram a crescer, a aprender e a fazer o que me apaixonava, especialmente os professores de minha formação.

Agradeço ao meu orientador Prof. Roberto Gomes e aos colegas de curso que sempre me ajudaram, mas em especial um grande amigo. A todos os que me ajudaram ao longo da vida, agradeço a todos os que me ajudaram ao longo da vida, agradeço a todos os que me ajudaram ao longo da vida.

Agradeço aos meus amigos de infância, quais sejam: Douglas, Ugo, André, Ricardo, José, Flávio, entre os quais sou grato, e a todos aqueles amigos que não pude mencionar aqui, agradeço a todos os que me ajudaram ao longo da vida.

Aos meus amigos de IGO, agradeço a todos os que me ajudaram ao longo da vida.

A todos os que me ajudaram ao longo da vida, agradeço a todos os que me ajudaram ao longo da vida.

Joignez-vous à la croisade de ceux qui croient au genre humain  
Pour une seule barricade qui tombe cent autres se lèveront demain  
À la volonté du peuple un tambour chante dans le lointain  
Il vient annoncer le grand jour et c'est pour demain

-Les misérables

## **Agradecimentos:**

Agradeço a todos os que participaram ativamente de minha formação como pessoa e finalmente como geólogo. A minha família da qual sempre me apoiou nos bons e maus momentos, aos meus amigos de vida, dos quais ressalto Zulcão, Coutinho, Jamile, Joice Miriam e Tata, muito obrigado por me ouvirem e pelo apoio.

Agradeço a meus pais por sempre me incentivarem e por sempre serem um ótimo exemplo de educadores e, sobretudo, amigos. As minhas melhores amigas de toda a vida Sarah e Aline, as quais me apoiam mesmo antes de eu nascer.

Aos grandes amigos que conheci na Geo dos quais ressalto Urtiga, LCD, Arthur, Gonzo, Pré, Planária, sem os quais sem dúvidas não teria chegado onde estou. Aos amigos da geo que sempre estão dispostos a passar algumas horas conversando no banco.

Agradeço aos professores do IGc que são pessoas muito importantes para mim, agradeço as boas aulas, as más também e a todos os que me apoiaram nos momentos mais difíceis de minha formação

Agradeço ao meu orientador Prof. Teodoro (Teco) o qual considero muito mais que apenas um orientador, mas também um grande amigo. A Natasha por me ajudar imensamente com o trabalho de formatura e também por me apoiar nas decisões que estão por vir.

Agradeço aos meus amigos da THEMAG, dos quais ressalto minha querida amiga e ex-chefe Gisele, a quem sempre me apoiou e me ensinou.

Aos meus amigos do LIG pelo apoio na utilização do laboratório.

E enfim a todos os que me apoiaram e ajudaram minha jornada até aqui.

## Sumário

1.	RESUMO .....	6
2.	ABSTRACT.....	6
3.	INTRODUÇÃO.....	7
4.	METAS E OBJETIVOS .....	10
5.	GEOLOGIA REGIONAL.....	10
5.1.	Província Mantiqueira .....	10
5.2.	Bacia do Paraná .....	12
6.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	16
6.1.	<i>Softwares</i> utilizados .....	18
6.2.	Imagens MODIS .....	18
6.3.	Imagens OLI Landsat 8.....	20
6.4.	Imagens Rapideye .....	21
6.5.	Extração automática de lineamentos .....	22
7.	RESULTADOS .....	24
7.1.	Imagens MODIS .....	24
7.2.	Imagens OLI Landsat 8.....	27
7.3.	Imagens Rapideye .....	29
7.4.	Comparação entre a extração automática de lineamentos e a manual .....	30
8.	INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	31
8.1.	Imagens MODIS .....	31
8.2.	OLI.....	34
8.3.	Rapideye.....	36
8.4.	Comparação entre a extração automática de lineamentos e a manual .....	36
8.5.	Comparação entre sensores OLI e MODIS nas áreas de estudo OLI e MODIS.....	36
8.6.	Comparação entre os lineamentos identificados nas imagens Rapideye, OLI e MODIS.....	39
9.	CONCLUSÕES.....	40
10.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41

## 1. RESUMO

O trabalho tem como principal objetivo discutir a identificação de lineamentos em produtos de sensoriamento remoto com diferentes resoluções espaciais. Em acréscimo os resultados foram tratados estatisticamente tanto para toda a área como por domínio geológico (Pré-Cambriano, representado principalmente pelas rochas da Província Mantiqueira, Paleozoico/Mesozoico pré-Serra Geral (Gondwana 1) e rochas da Formação Serra Geral, do Cretáceo, e suas coberturas mais recentes na área de estudo (Gondwana 3)). Foram utilizadas imagens de três sensores orbitais com diferentes resoluções espaciais: as imagens Terra/MODIS com *pixels* de 250 m, as imagens Landsat 8/OLI com *pixels* de 30 m e as imagens Rapideye/REIS com *pixels* de 5 m, este último sensor abrangendo apenas uma pequena área, escolhida em função da interpretação das imagens de maior abrangência espacial. A partir deste conjunto de imagens foi possível mostrar os diferentes resultados da interpretação em cada sensor, uma vez que a visão sinóptica afeta notadamente a interpretação: imagens com menor resolução espacial, e maior visão sinóptica, permitiram a identificação de estruturas com maiores dimensões enquanto as imagens de maior resolução espacial permitiram a identificação de lineamentos de pequenas dimensões. Foram ainda identificadas direções com maior presença apenas em terrenos proterozoicos e em anteriores ao Cretáceo.

## 2. ABSTRACT

The article has as main objective to discuss the identification of lineaments as products of remote sensing with different spatial resolutions. In addition, the results were statistically processed for all the area and by geological domain (Pre-Cambrian, shown by the rocks in the Mantiqueira Province, Paleozoic/Mesozoic of the pre-Serra Geral (Gondwana 1) and the Formation Serra Geral's rocks (Gondwana 3)). Three different orbital sensor's images, with different spatial resolutions were used: Terra/MODIS's images with 250 m pixel, Landsat 8/OLI with 30 m pixel and the Rapideye/JSS having a 5 m pixel, the last one in a small area due to its high spatial scope. Once the synoptic view affect in a different way each sensor it was possible to show different interpretation results: images with lower spatial resolution, and high synoptic vision, allow us to identify larger structures while high spatial resolution allowed the identification of small lineaments. Directions were also identified with greater frequency in Proterozoic terrains and prior to Cretaceous.

### 3. INTRODUÇÃO

A Bacia do Paraná é uma bacia intracratônica desenvolvida sobre crosta continental do Siluriano ao Cretáceo, sendo preenchida por rochas sedimentares e vulcânicas. Zalán *et al.* (1991) assinalam que os limites dessa bacia podem ser de dois tipos, os de mera natureza erosional e os devidos a arcos e soerguimentos tectônicos. No caso da borda Leste da bacia o Arco de Ponta Grossa e o do Rio Grande, ambos com direção NW e associados a altos magnetométricos que indicam enxames de diques de diabásio de origem mantélica. Estes arcos formam grandes reentrâncias na área da bacia, respectivamente nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul e, além destas feições, há o soerguimento da Serra do Mar, possivelmente associado à fase rifte da ruptura local do Gondwana. Há, assim, esforços capazes de gerar lineamentos com duas direções, uma muito clara, em torno de N40-55W, e outra de direção geral N-S. A estas se somam os lineamentos associados às estruturas e à conformação geral da geologia do embasamento da Bacia do Paraná, composta, ainda segundo Zalán *et al.* (1991), por área de escudo formado por núcleos cratônicos circindados por cinturões móveis orogênicos formados entre o Proterozoico Superior e Ordoviciano. Este quadro geológico gerou lineamentos estruturais com características e direções diversas, passíveis de serem interpretados em imagens de sensoriamento remoto, o tema abordado nesta Monografia de Trabalho de Formatura em uma área considerável da borda Leste da Bacia do Paraná e dos terrenos proterozoicos vizinhos.

A literatura mostra diversos trabalhos que tratam dos lineamentos estruturais no interior da Bacia do Paraná. No amplo Soares *et al.* (2007) fazem extenso estudo sobre lineamentos estruturais na Bacia do Paraná, discutindo dados de modelo digital de terreno (SRTM) e aerogeofísicos (gravimétricos e magnetométricos) com dados de trabalhos anteriores com interpretação de imagens orbitais de sensoriamento remoto óptico (Zalán, 1986; Soares *et al.*, 1982, 1991). Os autores estudaram a frequência na recorrência de lineamentos interpretados encontrando, para toda a bacia, alta recorrência com as direções NW, NE (N45(+/-15) E e N(45+/-15) W), seguidas por ENE, WNW e NNE, como mostra a Figura 1.

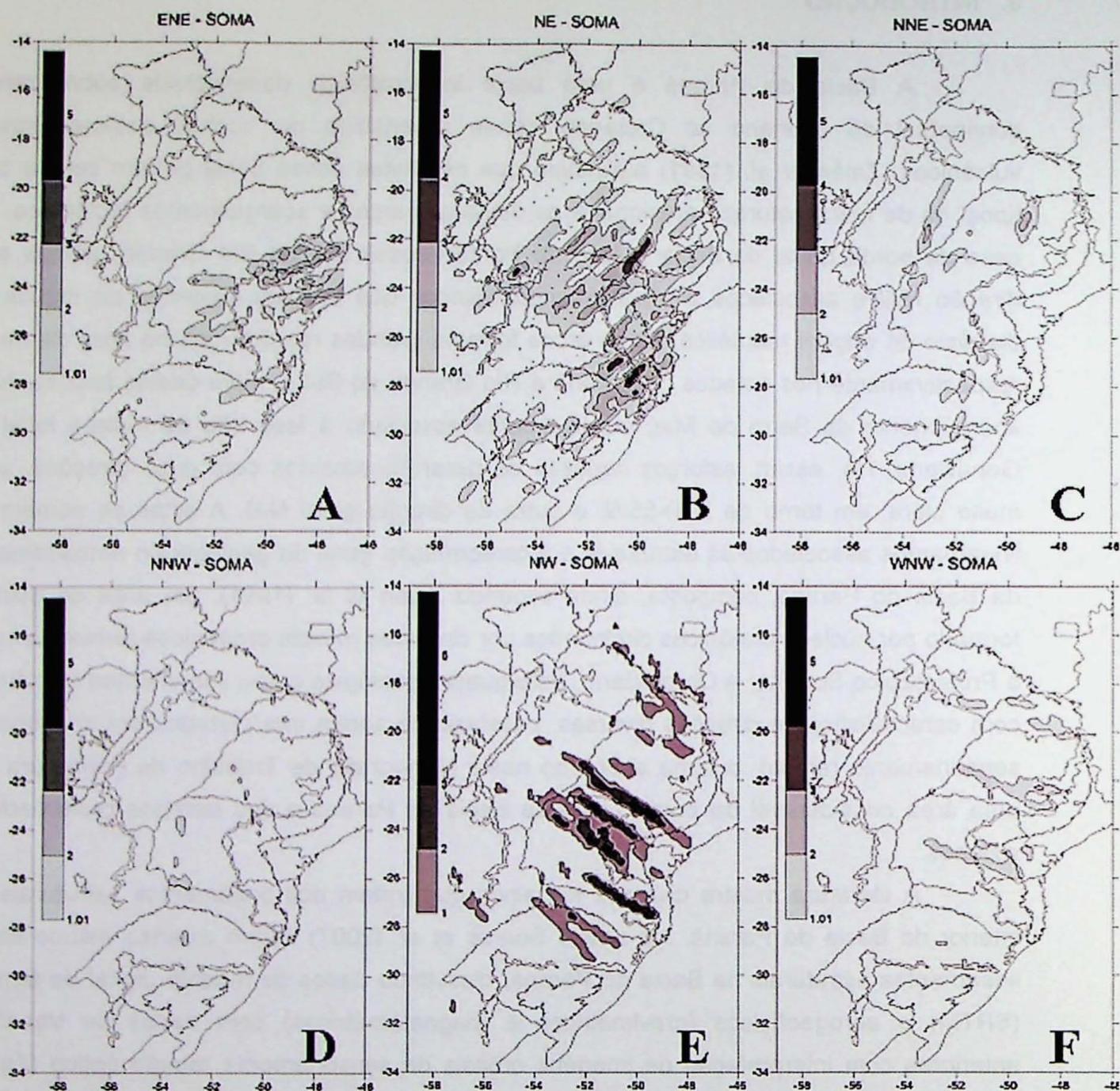


Figura 1. Frequência de recorrência dos lineamentos na cela, por direção. O contorno mínimo indica que o traço foi encontrado em mais de uma fonte na direção; em preto mais que duas fontes. Direções ENE (A), NE (B), NNE (C), NNW (D), NW (E) e WNW (F) (Soares et al).

Zalán *et al.* (1991) já citava o complexo padrão de feições lineares se cruzando, com as duas principais direções, NW e NE, se constituindo de falhas simples ou extensas zonas de falha com centenas de quilômetros de extensão e dezenas de quilômetros de largura, antigas zonas de fraqueza reativadas ao longo da evolução da bacia. A Figura 2 mostra a rosácea com lineamentos interpretados em dados aeromagnetométricos na Bacia do Paraná. A prevalência das direções N45-65W e N50-70E é enorme, com respectivamente 37% e 36% dos lineamentos, havendo ainda a presença da direção E-W (19%) e total ausência da N-S.

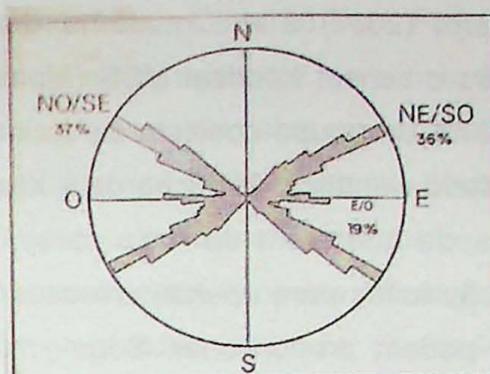


Figura 2 Rosácea das extensões de lineamentos interpretados em dados aeromagnetométricos na Bacia do Paraná (Zalán *et al.*, 1991)

Em Jacques *et al.* (2010) discute-se a interpretação de lineamentos estruturais na borda Leste da Bacia do Paraná a partir dos mesmos dados de sensoriamento remoto – imagens SRTM e Landsat TM - mas em duas diferentes escalas (1:100.000 e 1:500.000). Os resultados são interessantes, com as rosetas mostrando resultados significativamente diferentes. Os autores interpretaram esse resultado como diferentes aptidões das imagens em função da escala: a de mais detalhe permite detectar traços pouco extensos, provavelmente associados a estruturas mais rasas ou a diversos segmentos de uma estrutura única, a qual, em escala menor, seria interpretada como uma única feição.

Lineamentos são definidos por O’Leary *et al.* (1976) como feições mapeáveis, simples ou compostas por segmentos lineares em uma superfície cujas partes estão alinhadas de forma retilíneas ou levemente curvilíneas e que se distinguem do padrão das feições adjacentes. Sua utilização na geologia é notória, sendo o termo citado primeiramente por Hobbs (1904), que discute sua importância na identificação de discontinuidades tais como contatos geológicos, falhas e zonas fraturadas. O reconhecimento dessas estruturas é de grande importância e pode ser aplicada na prospecção mineral, na hidrogeologia, na prospecção de petróleo, na geologia de engenharia e no mapeamento geológico.

Dada sua importância na geologia, neste trabalho, foram testados diferentes sensores, de forma a mostrar a diversidade de visualização em imagens com diferentes abrangências e visões sinóticas. Foram identificados lineamentos em três sensores: o sensor MODIS (*Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer*), com resolução espacial de 250 m por pixel; o sensor OLI (*Operational Land Imager*) a bordo do satélite Landsat 8 com resolução espacial de 30 m por pixel e o sensor REIS (*Rapideye Earth Image Sensor*) a bordo dos satélites Rapideye, com resolução espacial de 5 m por pixel.

Nos produtos de menor abrangência e maior resolução espacial, detalhes da morfologia da superfície podem ser observados, por outro lado, a visão sinótica é menor. Este aspecto é muito importante na pesquisa. O termo sinótico ou sinóptico é relativo a

sinopse, ou seja, é a observação, em um só olhar, de diversas partes de um conjunto. De acordo com Schowengerdt (2007) a era moderna do sensoriamento remoto utilizando satélites começou quando o sensor Landsat MSS (*Multispectral Scanner System*) mostrou pela primeira vez, em 1972, um grupo consistente de imagens sinóticas, de alta resolução da Terra, para a comunidade científica. Já Richards & Xtuping (2006) mostram as vantagens de produtos orbitais citando que além de mais caras, as imagens obtidas por meio de sensores aeroportados são feitas para apenas um usuário, e não dão a visão sinótica que as imagens de satélite podem proporcionar. Seguindo esta ideia, a análise multisensor adotada traz à discussão um tema pouco usual, mostrando as diferenças no estudo e reconhecimento de lineamentos em diferentes sensores amplamente disponibilizados no Brasil.

#### **4. METAS E OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho foi discutir como o sensoriamento remoto pode ser usado em diferentes imagens orbitais na identificação de lineamentos e como os resultados podem ser diferentes em função do sensor utilizado.

#### **5. GEOLOGIA REGIONAL**

##### **5.1. Província Mantiqueira**

A Província Mantiqueira está localizada a leste do cráton São Francisco e da Bacia do Paraná, tendo sua história geológica começado no início do Proterozoico e estendendo-se até o final do Neoproterozoico (Fig. 3). Há registros de uma longa e complexa evolução do Neoproterozoico na América do Sul, como remanescentes de unidades paleotectônicas arqueanas, paleoproterozoicas e mesoproterozoicas. Seu arcabouço pré-cambriano foi desenvolvido em resposta ao "Ciclo Brasileiro" (Almeida 1967). Possui a extensão de 3.000 km com orientação NNE-SSW ao longo da costa atlântica brasileira (Bizzi *et al.* 2003). É composta de faixas de dobramentos Neoproterozoicos compostos por quatro orógenos diacrônicos: o Orógeno Araçuaí, o Orógeno Ribeira, o Orógeno Dom Feliciano e o Orógeno São Gabriel. Além destes orógenos, há também uma zona de interferência entre os orógenos Ribeira e Brasília (Heilbron *et al.* 2004). Segundo Hasui (2010) o Sistema Orogênico Mantiqueira teve sua aglutinação por volta de 500 Ma até 460 Ma. As principais estruturas apresentam direção NE-SW e zonas de cisalhamento transcorrentes destrais transpressivas (Heilbron *et al.* 2004).

Duas feições geológicas se destacam no contexto geotectônico do Escudo

Catarinense: a primeira localizada na porção centro-sul, com idade Neoproterozóica/Cambriana denominada Cinturão Dom Feliciano e a seguinte denominada Microplaca Luis Alves localizada a norte, referente a um cinturão de antepaís.

A microplaca Luis Alves é composta pelas rochas mais antigas desta região e foram englobadas no Complexo Granulítico de Santa Catarina (Hartman *et al.* 1979). Trata-se de um núcleo Arqueano- Paleoproterozoico composto por gnaisses polifásicos, predominantemente básicos, parcialmente recoberto por associações vulcano-sedimentares (Grupo Itajaí) e intrudido por granitoides alcalinos (Suíte Intrusiva Subida). Limita-se a noroeste com a Microplaca Curitiba, a nordeste com o Terreno Paranaguá, a oeste com a Bacia do Paraná, ao sul com o Cinturão Dom Feliciano (através da zona de cisalhamento Itajaí-Perimbó), e a leste com o Oceano Atlântico. Seus terrenos granulíticos permaneceram estáveis desde o Neoproterozóico (Siga Jr *et al.* 1993; Siga Jr *et al.* 1995; Basei *et al.* 2010).

O "Cinturão Dom Feliciano" foi definido por Fragoso-Cesar (1980) que o dividiu em três faixas litoestruturais paralelas: a zona central, o flanco ocidental e flanco oriental, coincidentes respectivamente com o Maciço Mediano de Pelotas, Faixa de Dobramentos Tijucas e Faixa de Dobramentos do Uruguai Oriental, conforme definidos por Hasui *et al.* (1975). Segundo Basei (2000) no Estado de Santa Catarina ocorrem três segmentos crustais: Cinturão Granitoide (Batólito Florianópolis), Cinturão Metavulcanossedimentar (Complexo Metamórfico Brusque) e Cinturão de Bacia de antepaís (Bacia de Itajaí). O contato do Batólito Florianópolis com o Grupo Brusque se dá por meio da Zona de Cisalhamento Major Gercino, a qual foi caracterizada por Shultz *et al.* (1969) como Lineamento Major Gercino e compõe o Cinturão de Cisalhamento Sul-Brasileiro (Bitencourt, 1996). Possui cerca de 1.400 km de extensão e 20 km de largura mínima e sua movimentação foi caracterizada como transcorrente dextral, de caráter rúptil-dúctil (Bitencourt *et al.*, 1989). Ao norte apresenta predomínio da direção NE e a sul da direção NNE (Bitencourt *et al.* 2008; Jacques *et al.* 2010).

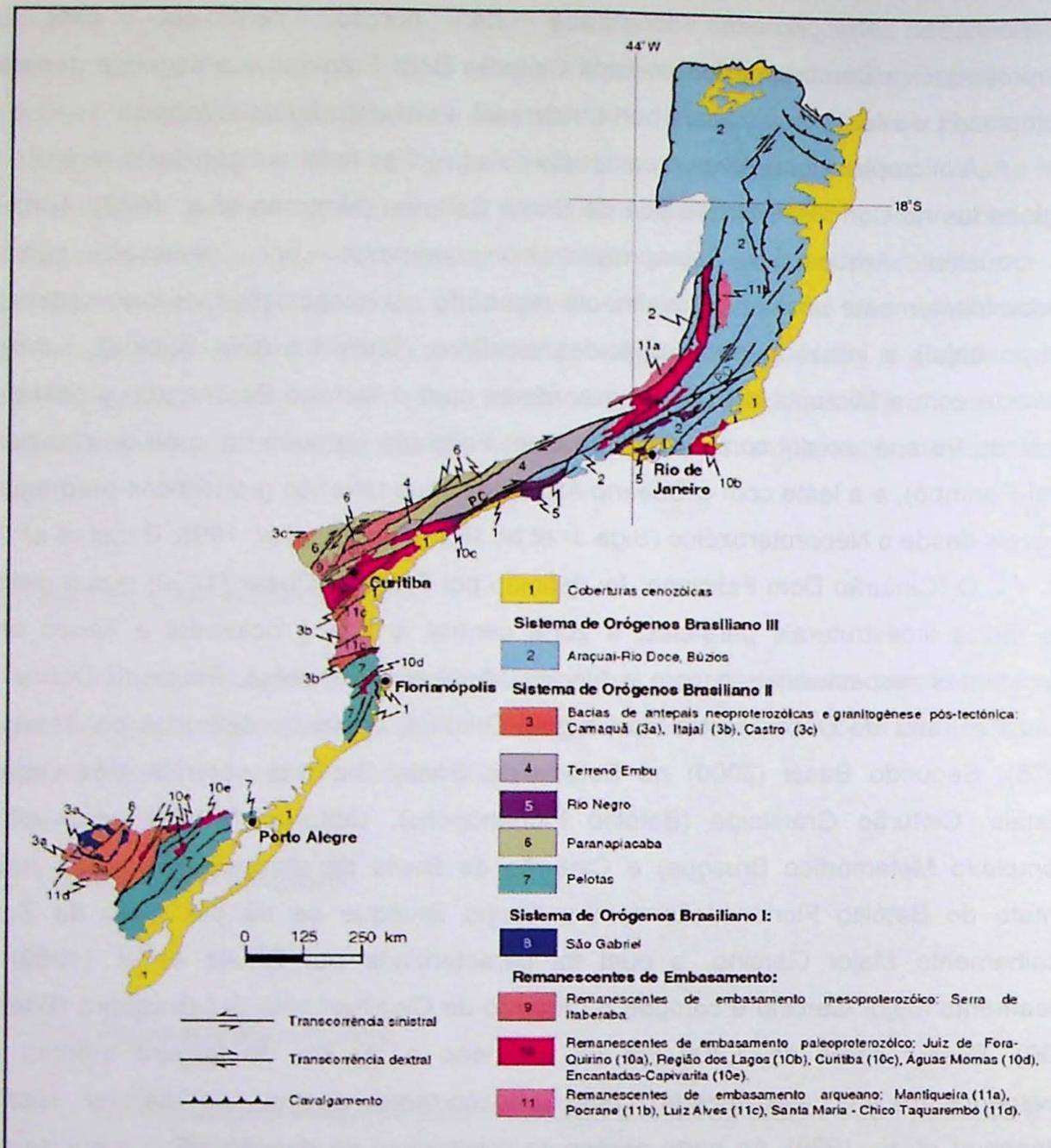


Figura 3 Mapa esquemático da Província Mantiqueira (segundo Bizzi *et al.* 2003).

## 5.2. Bacia do Paraná

A Bacia do Paraná situa-se na porção sudeste e centro-leste do continente sul-americano (Fig.5). A área de ocorrência de seus remanescentes não erodidos é de cerca de 1.600.000km<sup>2</sup> e é uma das maiores bacias intracratônicas do Brasil. Seu eixo principal de deposição é próximo a NNE SSW e perdurou do Neo-Ordoviciano até o final do Mesozoico quando foi interrompido pela abertura do Atlântico Sul (Milani e Ramos, 1989). Durante seu tempo de vida a bacia passou por seis sucessivos episódios de sedimentação e erosão: a Supersequência Rio Ivaí (Caradociano-Llandovertiano), a Supersequência Paraná (Lochkoviano-Frasniano), a Supersequência Gondwana I (Westphaliano-Scythiano), a Supersequência Gondwana II (Neoanisiano-Eonoriano) a Supersequência Gondwana III

(Neojurássico-Berriasiano) e a Supersequência Bauru (Senoniano). As três primeiras se correlacionam com os grandes ciclos transgressivos-regressivos de oscilação do nível do mar no Paleozoico e as três últimas, com os sedimentos de origem continental e rochas ígneas associadas (Milani 1997 e 2004; Milani et.al. 1998 e 2007) (Fig. 4).

O rifteamento do Oceano Atlântico Sul no Mesozoico foi responsável pela reativação de muitas estruturas no território brasileiro. A ruptura continental teria sido causada pela fusão parcial gerada por uma pluma mantélica (Tristão da Cunha), que no Mesozoico estaria sob a Plataforma Sul Americana (Morgan 1981 e O'Connor e Duncan 1990). Segundo Rostirolla *et al.* (2000) o estiramento litosférico causado pela ascensão da pluma condicionou atividades ígneas distensionais com geração de volume expressivo de basaltos toleíticos, andesitos, dacitos e riódacitos.

Castro *et al.* (2003) mostraram que a região do Arco de Ponta Grossa seria o braço abortado da junção tríplice causada pela pluma Tristão da Cunha, que não evoluiu para uma bacia sedimentar, mas foi o conduto para a ascensão das lavas da Formação Serra Geral. Esses sistemas de rifte NW e NE constituem falhas profundas que alimentaram enxames de diques em ambas as direções. Os diques de direção NW localizam-se preferencialmente na região do Arco de Ponta Grossa já os diques de direção NE estão associados à Serra do Mar.

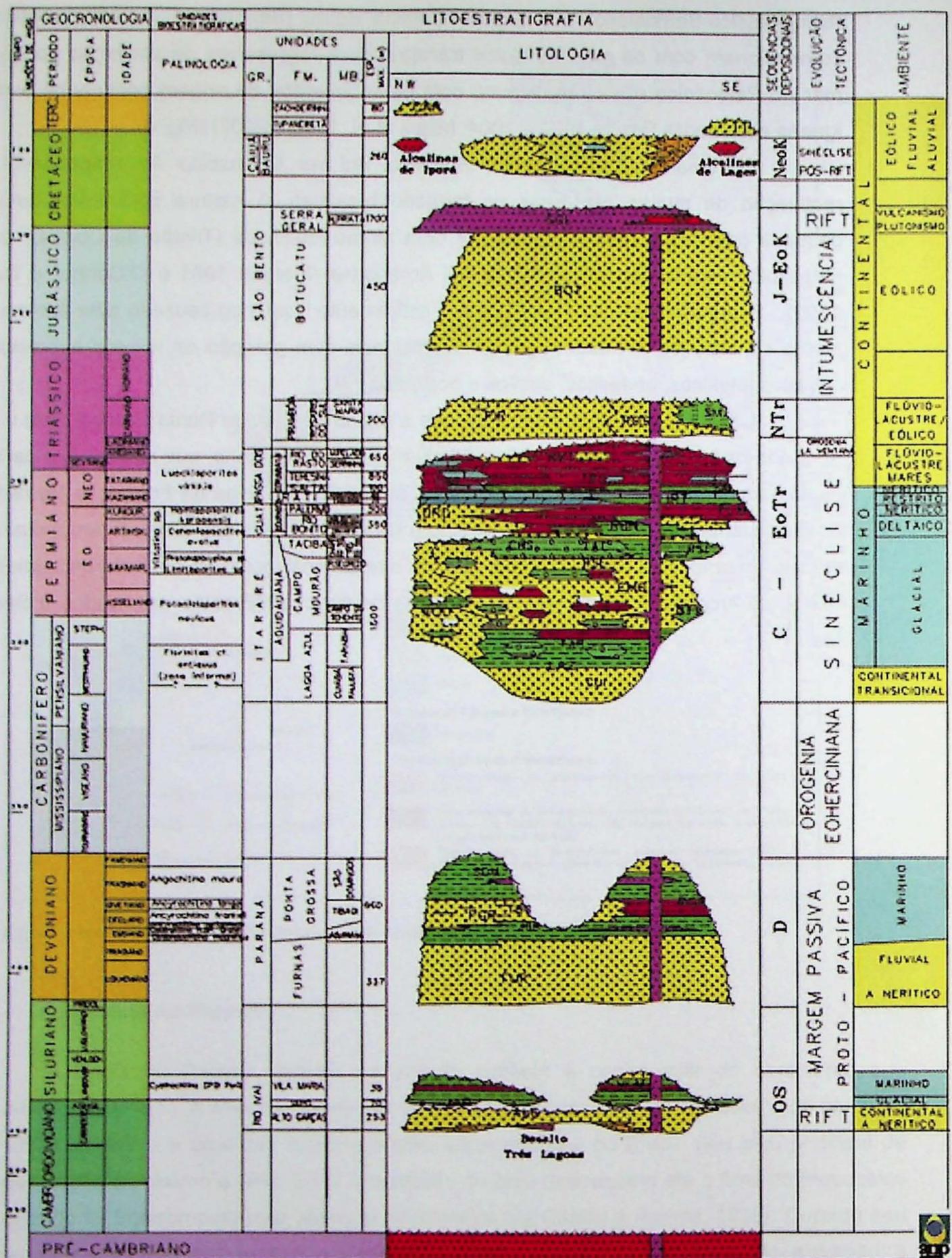


Figura 4 Coluna estratigráfica da Bacia do Paraná segundo Milani et al. 1993

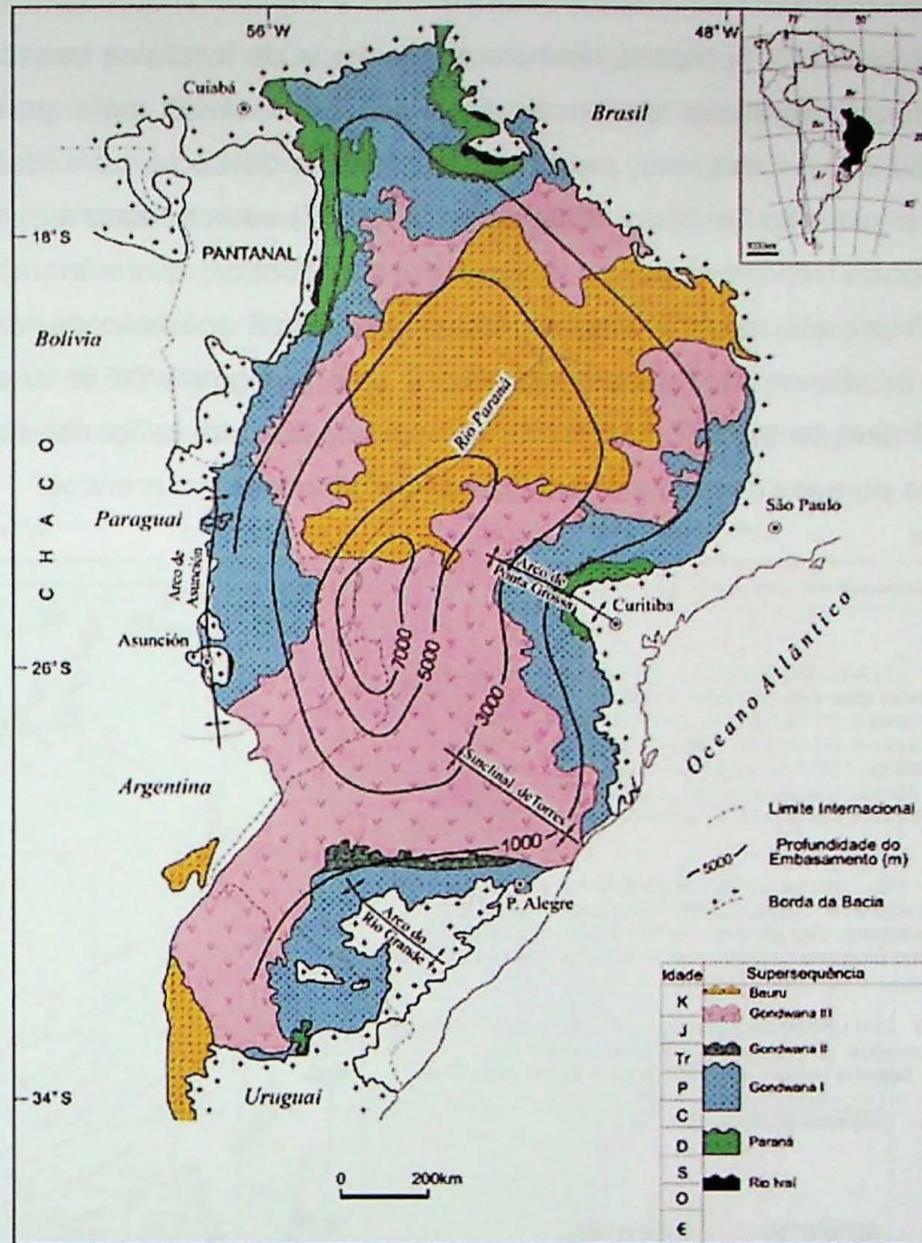


Figura 5 Mapa simplificado das sequências da Bacia do Paraná (segundo Milani, 2004).

Zalán *et al.* (1991) mostram (Fig. 6) que no arcabouço estrutural da bacia existem três direções estruturais preferenciais: N45-65W, N50-70W e E-W. As orientações NW e NE são as mais antigas e foram oriundas da reativação das zonas de fraqueza presentes no embasamento da bacia e ativas durante o Fanerozóico, influenciando fortemente a paleogeografia, a sedimentação e a distribuição de fácies na bacia, bem como o desenvolvimento de estruturas tectono-sedimentares. Já os lineamentos E-W estão relacionados à separação do Gondwana (a partir do Triássico). Riccomini *et al.* (1992, 2005) citam estruturas de liquefação relacionadas a sismos, como descrito na Formação Corumbataí.

Segundo Roldan (2007) e Roldan *et al.* (2010) as estruturas de orientação NW foram reativadas no Eocretáceo e preenchidas por diques de diabásio enquanto as estruturas de orientação NE, como a exemplo do Domo de Lages, encontram-se associadas

a falhas transcorrentes sinistras e destrais.

Roldan (2007) mostra também a existência de tectônica transcorrente afetando as sucessões estratigráficas da bacia e sendo responsáveis pela geração de estruturas dômicas ou altos estruturais, presentes nas bordas da bacia, com idades entre o final do Cretáceo e início do Terciário. Strugale *et al.* (2007) caracterizaram dois principais eventos deformacionais rúpteis, relativos à abertura do Atlântico, que afetaram o Arco de Ponta Grossa. O primeiro evento é de natureza extensional e é responsável pelo controle das intrusões de diques eocretáceos do arco e pelo soerguimento de sua parte central com falhas de direção NW-SE, enquanto o segundo evento é de natureza transtraccional e reativou as paredes dos diques, produzindo deformações em arenitos.

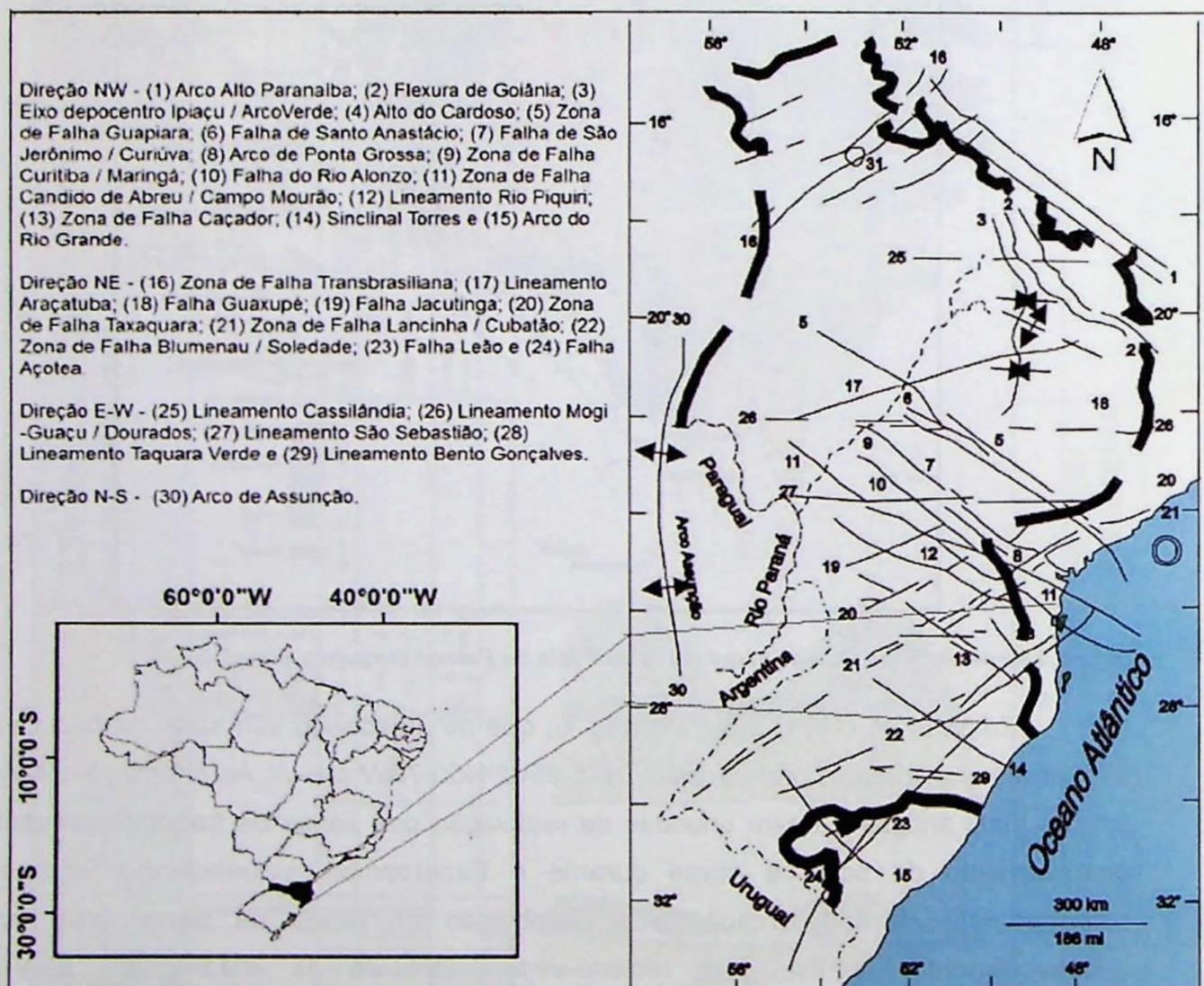


Figura 6 Principais estruturas tectônicas lineares da Bacia do Paraná (extraído de Zalán *et al.*, 1991).

## 6. MATERIAIS E MÉTODOS

Para responder ao objetivo proposto – discutir a variabilidade na detecção de lineamentos em função das características de sensores remotos, foram selecionadas diferentes áreas, condizentes com a resolução espacial das imagens escolhidas (Figura 3).

Em acréscimo a isso os lineamentos foram separados em grandes domínios ou intervalos de tempo geológico (rochas Pré-Cambrianas da província Mantiqueira, rochas sedimentares da Bacia do Paraná pré-Serra Geral - Gondwana 1 - e as rochas da Formação Serra Geral - Gondwana 3 e eventuais coberturas) definidos no mapa geológico 1:1.000.000 da CPRM.

A área de trabalho foi escolhida de acordo com a resolução espacial das imagens escolhidas. Uma área maior foi escolhida para as imagens MODIS/Terra, uma área intermediária foi escolhida para as imagens OLI Landsat 8 e uma área menor foi escolhida para as imagens REIS Rapideye (Fig. 7). Na área desta última imagem foram obtidas rosáceas com as direções dos lineamentos interpretados nas imagens dos três sensores.

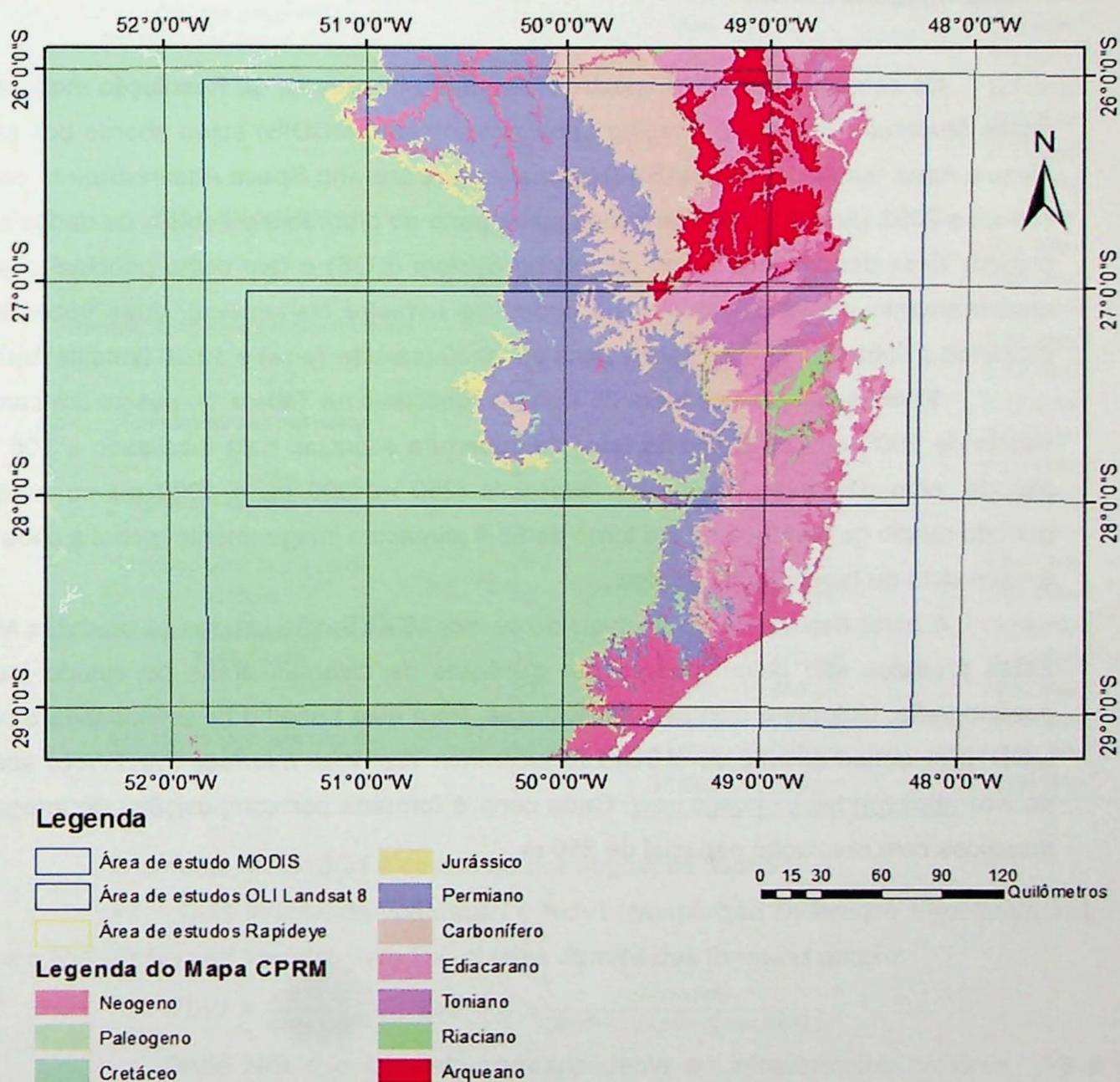


Figura 7 Áreas de estudo utilizadas para as imagens MODIS, OLI e Rapideye sobre o Mapa Geológico ao milionésimo da CPRM (CPRM, segmento das Folhas SG 22 e SH 22).

## 6.1. Softwares utilizados

Durante a realização do presente trabalho foram utilizados quatro *softwares* o Exelis Envi 5.1 para o processamento e tratamento das imagens, o Openstereo para o tratamento estatístico dos dados de direção, comprimento dos lineamentos e na confecção das rosáceas, o ArcMap 10.1 para a confecção dos dados vetoriais de lineamento. Para fins de comparação entre os dados, foi também utilizado o software PCI Geomatics 2013, a partir do qual utilizou-se o algoritmo LINE para a detecção automática de lineamentos.

## 6.2. Imagens MODIS

Os sensores MODIS (Espectro-Radiômetro Imageador de Resolução moderada em inglês *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* -MODIS) estão a bordo dos satélites Terra e Aqua lançados pela NASA (National Aerospace and Space Administration) em 1999 (Terra) e 2002 (Aqua). Foram lançados como parte do programa de coleta de dados sobre o planeta Terra denominado *Earth Observing System* (EOS) e tem como principal objetivo o monitoramento global e contínuo da superfície terrestre diariamente, duas vezes ao dia, cruzando a linha do equador pela manhã as 10:30 (satélite Terra) e 13:30 (satélite Aqua).

Estes sensores possuem 36 bandas (descritas na Tabela 1), possui um campo de visada de 100°, em 2.330 km de faixa de cobertura espacial. Está localizado a 705 km de altitude, com diferentes resoluções espaciais (250 m, 500 m, e 1000 m) no nadir. Seu período médio de revolução é em torno de 98,9 minutos e imageamento global a cada 2 dias em um ciclo de repetição de 16 dias.

A partir das bandas individuais do sensor MODIS, são obtidos os produtos MODIS. Estes produtos são desenvolvidos por cientistas de diversas áreas de estudo incluindo oceanografia, biologia e ciências atmosféricas. Para este trabalho foi selecionado o produto MOD13Q1 obtido através do MODIS *Reprojection Tool Web Interface* (MRTWeb) acessível no site <https://mrtweb.cr.usgs.gov/>. Cada cena é formada por composições de imagens ou mosaicos com resolução espacial de 250 m.

Tabela 1 Descrição das bandas dos sensores MODIS

Uso	Banda	Intervalo do espectro eletromagnético	Radiância espectral	
Solo/nuvens e bordas de aerossóis	1	620 – 670 nm	21.8 W/m <sup>2</sup>	
	2	841 – 876 nm	24.7 W/m <sup>2</sup>	
	3	459 – 479 nm	35.3 W/m <sup>2</sup>	
	4	545 – 565 nm	29.0 W/m <sup>2</sup>	
Solo/nuvens e propriedades dos aerossóis	5	1230 – 1250 nm	5.4 W/m <sup>2</sup>	
	6	1628 – 1652 nm	7.3 W/m <sup>2</sup>	
	7	2105 – 2155 nm	1.0 W/m <sup>2</sup>	
	8	405 – 420 nm	44.9 W/m <sup>2</sup>	
	9	438 – 448 nm	41.9 W/m <sup>2</sup>	
	10	483 – 493 nm	32.1 W/m <sup>2</sup>	
	11	526 – 536 nm	27.9 W/m <sup>2</sup>	
	Cor dos oceanos/ fito plâncton/ biogeoquímica	12	546 – 556 nm	21.0 W/m <sup>2</sup>
		13	662 – 672 nm	9.5 W/m <sup>2</sup>
		14	673 – 683 nm	8.7 W/m <sup>2</sup>
		15	743 – 753 nm	10.2 W/m <sup>2</sup>
16		862 – 877 nm	6.2 W/m <sup>2</sup>	
17		890 – 920 nm	10.0 W/m <sup>2</sup>	
Água atmosférica	18	931 – 941 nm	3.6 W/m <sup>2</sup>	
	19	915 – 965 nm	15.0 W/m <sup>2</sup>	
Temperatura da superfície/nuvens	20	3.660 - 3.840 µm	0.45 W/m <sup>2</sup>	
	21	3.929 - 3.989 µm	2.38 W/m <sup>2</sup>	
	22	3.929 - 3.989 µm	0.67 W/m <sup>2</sup>	
	23	4.020 - 4.080 µm	0.79 W/m <sup>2</sup>	
Temperatura atmosférica	24	4.433 - 4.498 µm	0.17 W/m <sup>2</sup>	
	25	4.482 - 4.549 µm	0.59 W/m <sup>2</sup>	
Água em nuvens cirrus	26	1.360 - 1.390 µm	6.00 W/m <sup>2</sup>	
	27	6.535 - 6.895 µm	1.16 W/m <sup>2</sup>	
Propriedades das nuvens	28	7.175 - 7.475 µm	2.18 W/m <sup>2</sup>	
	29	8.400 - 8.700 µm	9.58 W/m <sup>2</sup>	
Ozônio	30	9.580 - 9.880 µm	3.69 W/m <sup>2</sup>	
	31	10.780 - 11.280 µm	9.55 W/m <sup>2</sup>	
Propriedades da superfície das nuvens e da superfície	32	11.770 - 12.270 µm	8.94 W/m <sup>2</sup>	
	33	13.185 - 13.485 µm	4.52 W/m <sup>2</sup>	
	34	13.485 - 13.785 µm	3.76 W/m <sup>2</sup>	
Altitude do topo das nuvens	35	13.785 - 14.085 µm	3.11 W/m <sup>2</sup>	
	36	14.085 - 14.385 µm	2.08 W/m <sup>2</sup>	

O produto MOD13Q1 é composto dos seguintes dados:

- Dois índices de vegetação o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*) obtidos através das formulas abaixo:

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad EVI = G \times \frac{NIR - RED}{(NIR + C1 \times RED - C2 \times BLUE + L)}$$

Onde NIR é o intervalo correspondente ao infravermelho próximo, VIS é o intervalo correspondente ao visível, RED é o intervalo correspondente ao vermelho, C1 e C2 são coeficientes de resistência de aerossol, L é o ajuste de fundo de dossel não-linear e G é o fator de ganho;

- Duas imagens com informação sobre a qualidade dos produtos de índice de

vegetação (NDVI *Quality* e EVI *Quality*);

- Imagens de refletância das bandas RED (vermelho), BLUE (azul), NIR (infravermelho próximo) e MIR (infravermelho médio);
- Três imagens de referência à maneira em que os dados foram obtidos.

A escolha deste produto se deu devido a sua alta qualidade, resolução espacial moderada em comparação com os demais produtos e farta disponibilidade de imagens sem nuvens, por ser um produto composto por imagens diárias de 16 dias. Foram utilizadas duas imagens uma em 25/05/2013 e uma em 5/9/2013. Os critérios de seleção das imagens foram a maior visibilidade dos lineamentos e a maior confiança no valor do *pixel* (menor presença de ruído).

Devido à maior refletância dos materiais naturais no infravermelho próximo, decidiu-se utilizar o NIR do produto MOD13Q1. Visando reduzir a existência de ruídos eletrônicos e remanescentes de alterações atmosféricas nestas imagens, fez-se uma análise de principais componentes (APC) das duas datas selecionadas. A PC1, componente que concentra a informação mais redundante, correlacionada, exclui, em princípio, os ruídos eletrônicos e alterações atmosféricas, pois ambos não têm persistência temporal. Foi testada a aplicação na PC1 de filtros isotrópicos, com o filtro laplaciano passa-altas e o filtro Sobel bem como filtros direcionais para auxiliar na interpretação dos lineamentos.

### 6.3. Imagens OLI Landsat 8

O satélite Landsat 8, lançado em fevereiro de 2013, porta o sensor *Operational Land Imager* (OLI) que inclui as mesmas bandas espectrais dos sensores Thematic Mapper e Enhanced Thematic Mapper de seus antecessores Landsat 5 e Landsat 7, acrescidas de três novas bandas (o *deep blue* para estudo de costas e aerossóis, o infravermelho de ondas curtas para a detecção de nuvens tipo cirrus e a banda de avaliação de qualidade do *pixel*). Tem ainda o sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) que possui duas bandas termais, ambas descritas na tabela 2. Ambos os sensores possuem uma elevada razão sinal-ruído (*Signal-to-Noise*, SNR) e profundidade radiométrica de 12-bit (isto traduzindo em 4096 níveis de cinza em comparação com os 256 de seus antecessores). A avançada razão sinal ruído permite uma melhor classificação do estado da cobertura terrestre e sua condição.

O sensor OLI possui resolução espacial de 30 m, com a banda pancromática de 15 m. O sensor TIRS adquire dados em *pixels* de 100 m e seus dados são reamostrados para 30 metros. As imagens são adquiridas a cada 16 dias e estão disponíveis após um dia de sua recepção. A Tabela 2 mostra os comprimentos de onda e resolução espacial das bandas dos sensores OLI e TIRS.

Para a detecção de lineamentos testou-se a utilização de análise dos principais

componentes, uma transformação linear que produz uma imagem não-correlacionada multivariável correlata ao banco de dados. Essa nova imagem pode possuir novas propriedades que podem ser desejadas (Fontanel *et al.* 1975; Gillespie 1980). Segundo Anuta *et al.* (1977) a primeira principal componente (PC1) é o resultado mais importante desta transformação e possuirá a maior parte da informação das demais bandas. Esta componente principal está associada ao albedo e é, em princípio, adequada para a extração de lineamento. A partir disso testou-se a aplicação nas bandas do infravermelho (NIR, SWIR e SWIR 2), comparando o resultado com a banda no NIR, reconhecidamente eficiente na detecção de textura pois solo exposto e vegetação tem elevada refletância.

**Tabela 2** Descrição das bandas do sensor OLI a bordo do satélite Landsat 8. NIR = infravermelho próximo (*near infrared*); SWIR = infravermelho ondas curtas (*short waves infrared*).

Bandas	Comprimento de onda (µm)	Resolução espacial (m)
Banda 1 – Aerossol costal	0.43 - 0.45	30
Banda 2 - Azul	0.45 - 0.51	30
Banda 3 - Verde	0.53 - 0.59	30
Banda 4 - Vermelho	0.64 - 0.67	30
Banda 5 – Infravermelho próximo (NIR)	0.85 - 0.88	30
Banda 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Banda 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Banda 8 - Pancromática	0.50 - 0.68	15
Banda 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30

#### 6.4. Imagens Rapideye

A missão comercial Rapideye é formada por uma constelação de cinco satélites multiespectrais (TACHYS Rapideye 1, MATI Rapideye 2, TROCHIA Rapideye 3, CHOROS Rapideye 4 e CHOMA Rapideye 5) lançados em 29 de agosto de 2008 a partir de um foguete russo. Estes satélites são controlados pela empresa alemã RapidEye AG de comércio de imagens orbitais. O desenvolvimento dessa missão ocorreu em parceria com a empresa canadense de astronáutica MacDonald Dettwiler and Associates Ltd., que forneceu os sistemas de pré-processamento de dados e armazenamento de imagens de satélite. A construção dos satélites foi responsabilidade da Surrey Satellite Technology Ltd e a produção das câmeras foi responsabilidade da empresa Jena-Optronik.

A grande vantagem das imagens Rapideye sobre as demais é a capacidade de produzir conjuntos de imagens de qualquer ponto da terra em pouco tempo, fazendo com que ele possa ser utilizado para o monitoramento de eventos em agricultura, cartografia,

florestas, governos, seguradoras e outros que necessitem a atualização de seus dados de forma rápida.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) adquiriu imagens Rapideye de todo o território nacional para o período entre 2011 e 2012. Essas imagens podem ser obtidas através do site [www.geocatalogomma.com.br](http://www.geocatalogomma.com.br), apenas para pesquisas e desenvolvimentos de teses e dissertações e o acesso é restrito ao orientador. Esse sistema de obtenção de imagens foi desenvolvido pela empresa Santiago & Cintra Consultoria e permite a pesquisa e disponibilidade das imagens através de consultas por municípios, estados, cenas, coordenadas ou polígonos geográficos e obtenção das imagens disponíveis com seus respectivos metadados.

Os sensores REIS (*Rapideye Earth Imaging System*) possuem cinco bandas e sua descrição pode ser vista na Tabela 3. Sua altitude orbital nominal é de 630 km em órbitas sol-síncronas. Os satélites cruzam o equador às 11:00. A faixa de imageamento é de 77 km e seu tempo de revisita é diário fora do Nadir e de 5,5 dias no Nadir. Pode imagear 4 milhões de quilômetros quadrados por dia.

**Tabela 3** Descrição dos sensores REIS a bordo dos satélites Rapideye

Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada	Resolução Radiométrica
Azul	440 - 510 nm				
Verde	520 - 590 nm				
Vermelho	630 - 690 nm	6,5 m (Nadir) e 5 m para ortoimagens	24 horas (off-Nadir) e 5,5 dias (Nadir)	77,25 km	12 bits
Red-Edge	690 - 730 nm				
Infravermelho próximo	760 - 880 nm				

### 6.5. Extração automática de lineamentos

Há dois caminhos básicos para a extração de lineamentos: a interpretação visual sobre imagens analógicas ou digitais, com ou sem pré-processamentos para realce das feições, e a automática. O primeiro caminho, presente nas geociências desde as origens dos produtos de sensoriamento remoto, é custoso e demorado. Isto levou ao desenvolvimento de rotinas e *softwares* com este fim. Uma comparação entre estes métodos pode ser vista na Tabela 4. Optou-se inicialmente pela identificação de lineamentos através da interpretação visual devido aos bons resultados obtidos através dos métodos visuais, como demonstrado em Kiran Raj (2014). Este autor fez uma comparação entre os resultados de imagens extraídas automaticamente e visualmente e concluiu que os resultados a partir dos dois métodos são satisfatórios e reforça a utilização desses métodos na exploração mineral. Vaz (2008) mostra a tendência de estruturas transcorrentes não

aparecerem nas imagens onde os lineamentos foram extraídos automaticamente, devido ao fato destes lineamentos estarem associados a sequências de pequenos segmentos. Entretanto, com a disponibilidade de software resolveu-se testar a classificação automática.

**Tabela 4 Comparação entre os processos visuais e automáticos de extração e análise de lineamentos (Hung et al. 2005).**

Processo visual	Processo digital
Depende da qualidade da imagem (no papel ou na tela)	Depende somente da qualidade da imagem
Parcialmente dependente da complexidade da área de estudo	Totalmente dependente da complexidade da área de estudo
Depende da experiência e habilidade humana	Depende unicamente das funções matemáticas dos softwares
Toma muito tempo	Instantâneo
Depende da subjetividade humana	Não depende da subjetividade humana
Distingue facilmente lineamentos de ruídos	Não distingue lineamentos de ruídos

A extração dos lineamentos foi feita através do algoritmo LINE do módulo Focus do software PCI Geomatica V13.0, aplicado à banda 5 das imagens OLI Landsat 8. O LINE é controlado por parâmetros cujos valores são pré-definidos ou alterados pelo usuário (Manual PCI Geomatica, 2013):

- *Filter Radius*: especifica o tamanho do *kernel* gaussiano usado como filtro durante a detecção de bordas. Quanto maior o valor, menos ruído e menos detalhe aparecerá no resultado. O valor padrão é 10, sendo que o intervalo de valores deste parâmetro é de 0 até 8192.
- *Edge Gradient Threshold*: especifica o limite do nível de gradiente mínimo de um *pixel* da borda para obter uma imagem binária. Os *pixels* acima do limite representarão na imagem um elemento de borda. O intervalo para esse parâmetro é de 0 até 8192.
- *Curve Length Threshold*: especifica o comprimento mínimo de curva (em *pixels*) para ser considerado um lineamento. O valor padrão deste parâmetro é 30.
- *Line Fitting Error Threshold*: especifica o erro máximo, em *pixels*, permitido ao sobrepor uma linha sobre uma curva. Quanto menor o valor melhor o ajuste, mas menor são os lineamentos
- *Angular Difference Threshold*: especifica o ângulo máximo, em graus, entre os segmentos de uma linha. Se o ângulo ultrapassa o máximo especificado, a linha é dividida em dois ou mais vetores. Este ângulo também define o ângulo máximo entre dois vetores para serem ligados. O valor padrão para este

parâmetro é 30.

- *Linking Distance Threshold*: especifica a distância mínima, em *pixels*, entre os pontos finais de dois ou mais vetores a serem ligados. O valor padrão para este parâmetro é 20

Os parâmetros utilizados neste trabalho tiveram como base os trabalhos de Madani (2001), Qari (2008), Abdullah (2009) e Conceição *et. al.* (2013) mostrados na tabela 5.

**Tabela 5** Parâmetros utilizados na literatura na detecção automática de lineamentos e os utilizados nesta pesquisa.

Parâmetros	Madani (2001)	Qari (2008)	Abdullah (2009)	Conceição <i>et al.</i> (2013)	Parâmetros utilizados
Filter Radius ( <i>Pixel</i> )	3	8	12	15	15
Edge Gradient Threshold	15	10	90	60	60
Curve Length Threshold	15	10	30	10	10
Line Fitting Error Threshold	2	3	10	5	10
Angular Difference Threshold	10	15	30	15	10
Linking Distance Threshold	30	20	20	30	30

## 7. RESULTADOS

### 7.1. Imagens MODIS

A Figura 8 mostra a PC1 do NIR no produto MOD13Q1 das imagens MODIS das duas datas escolhidas bem como seu grande potencial na detecção de lineamentos.

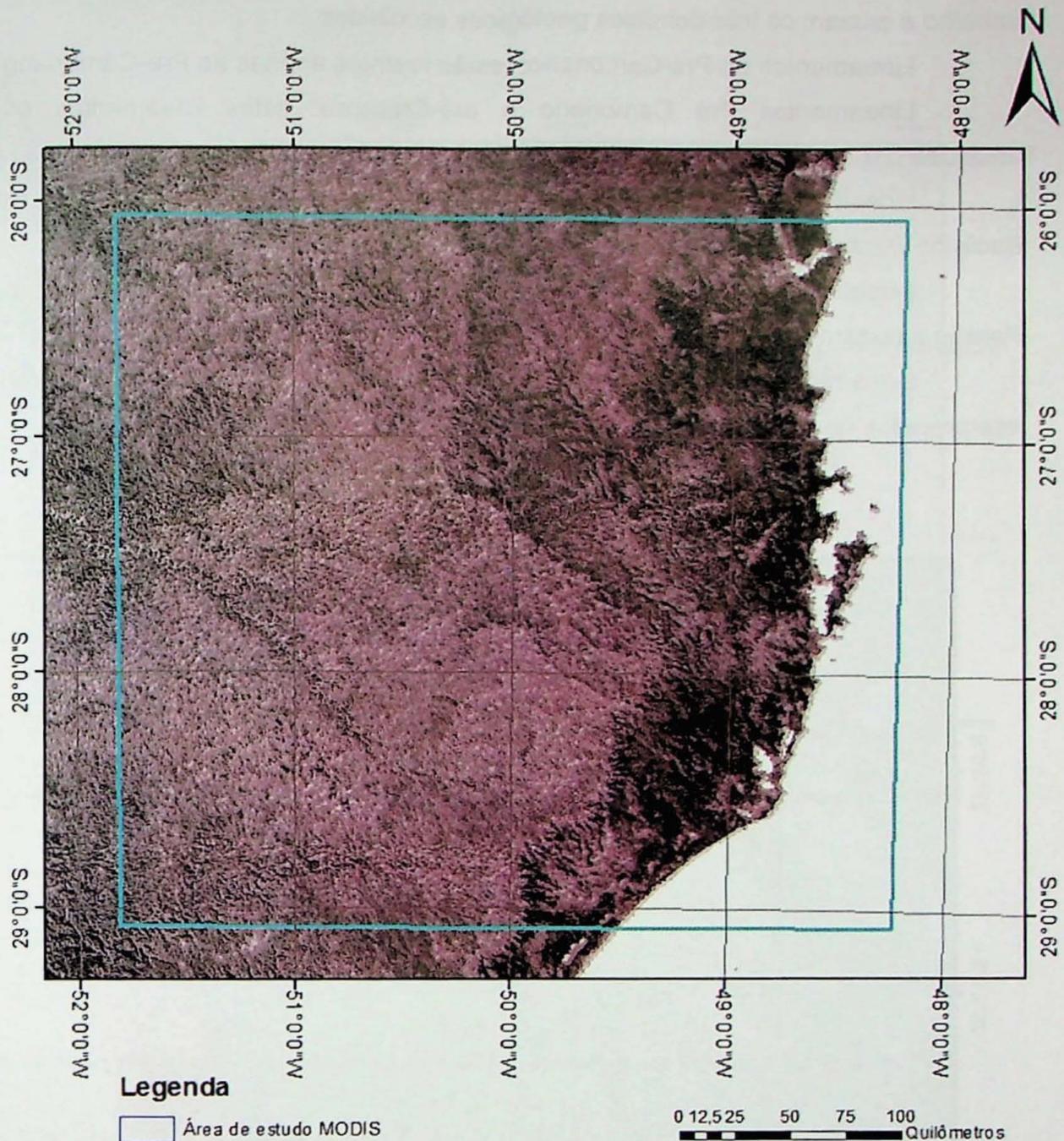


Figura 8 PC1 do NIR do produto MOD13Q1 das imagens MODIS.

A partir da Figura 8 foi feita a identificação dos lineamentos regionais. Sua identificação foi feita de maneira manual e visual a partir da análise visual da PC1(Fig. 8). Durante esta etapa o modelo digital de elevação (SRTM) foi utilizado como auxílio para identificar ruídos. A partir disso foi feito um arquivo vetorial de linhas de forma que seu resultado pudesse ser tratado posteriormente. O resultado dessa análise pode ser observado na Figura 10.

Em seguida os lineamentos foram agrupados de acordo com o seu domínio geológico, utilizando-se o Mapa Geológico da CPRM. Na Figura 9 está a imagem com os lineamentos interpretados. Os lineamentos foram separados nas seguintes categorias:

Lineamentos em toda a área de estudo: são os maiores encontrados durante o

trabalho e cruzam os três domínios geológicos escolhidos.

Lineamentos do Pré-Cambriano: estão restritos apenas ao Pré-Cambriano

Lineamentos Pré Cambriano e pré-Cretáceo: estes lineamentos cruzam as unidades pré-cambrianas e também as unidades da Bacia do Paraná anteriores ao Cretáceo

Lineamentos pré-Cretáceo: são lineamentos que cruzam apenas as unidades da Bacia do Paraná anteriores ao Cretáceo.

Lineamentos pré e pós Cretáceo: estes lineamentos estão presentes na Bacia do Paraná e cortam todas as unidades.

Lineamentos pós-Cretáceo: esses lineamentos da Bacia do Paraná foram interpretados na Formação Serra Geral

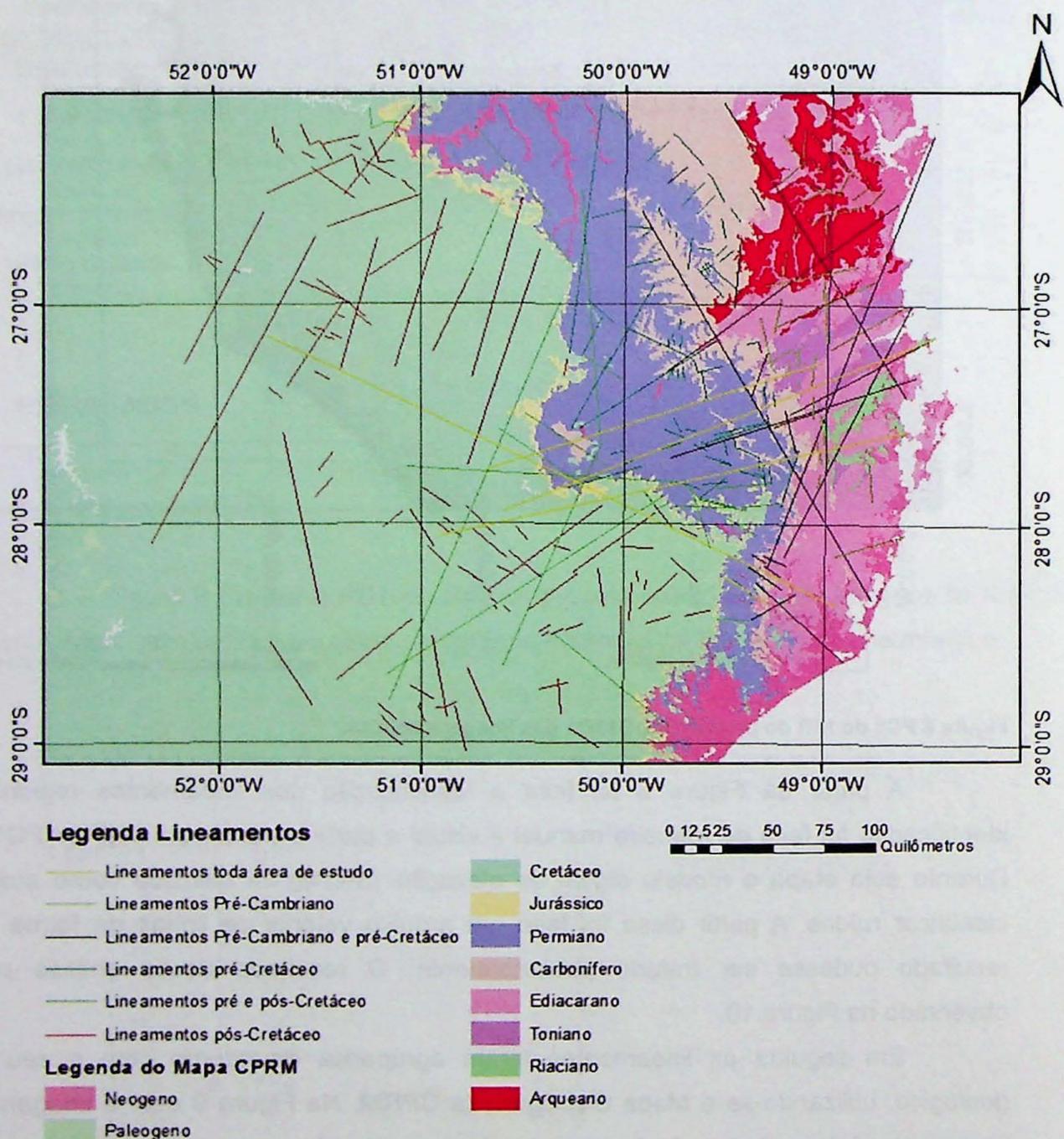


Figura 9 Lineamentos identificados nas imagens MODIS com o Mapa Geológico da CPRM das folhas SG-22 e SH-22 1:1. 000.000 ao fundo.

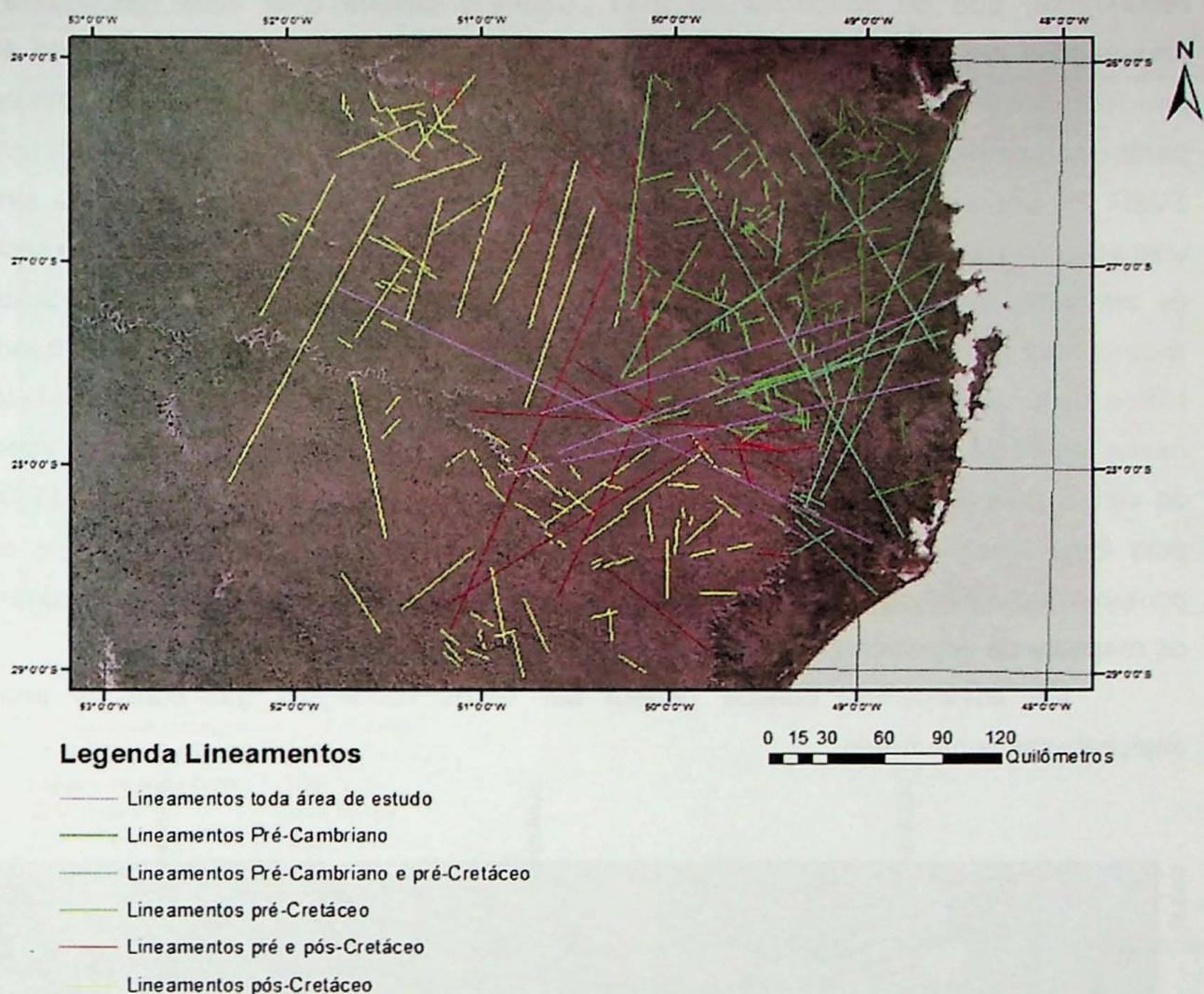


Figura 10 Mapa dos lineamentos nas imagens MODIS separados por unidades geológicas.

## 7.2. Imagens OLI Landsat 8

Na realização do trabalho foram utilizadas três imagens: a imagem 220/079 (órbita e ponto) do dia 26/08/2014, 221/079 (órbita e ponto) do dia 21/01/2014 e 222/079 (órbita e ponto) do dia 28/01/2014. As imagens foram selecionadas tentando-se obter a menor quantidade possível de cobertura de nuvens e melhor qualidade de *pixel*. Devido ao baixo acervo de imagens, não foi possível selecionar imagens com datas próximas.

Para a detecção de lineamentos pensou-se na utilização da análise dos principais componentes, uma transformação linear que produz uma imagem não-correlacionada multivariável correlata ao conjunto de bandas da imagem utilizada. Essa nova imagem pode possuir novas propriedades que podem ser desejadas, como aguçada textura (Fontanel *et al.* 1975; Gillespie 1980). Segundo Anuta *et al.* (1977) primeira componente principal (PC1) é o resultado mais importante desta transformação e possuirá a maior parte da informação

das demais bandas, ou seja, maior albedo. Em livros texto sobre processamento digital de imagens a APC sempre é destacada como eficiente ferramenta para separar a informação redundante, que se concentra na PC1. Como o albedo é a mais redundante das informações em sensores ópticos a PC1 sobre as bandas do espectro refletido é, em princípio, muito rica em textura e assim indicada para a interpretação de lineamentos. A partir disso pensou-se em aplicar uma APC sobre as bandas do infravermelho (NIR, SWIR e SWIR 2). Entretanto, essa técnica não mostrou um resultado melhor do que a simples utilização da banda 5 (NIR). Segundo Walsh *et al.* (1986), que comparou diversas técnicas de aprimoramento de imagens Landsat, apesar dos processamentos a interpretação dos lineamentos sempre será parecida com a imagem não-processada. A escolha da banda no NIR é bem conhecida para este fim, pois todos os materiais naturais tem alta refletância nessa região do espectro. A vegetação absorve intensamente a radiação na região espectral do visível pela presença de pigmentos, no SWIR 1 (em torno de 1.650 nm, banda OLI 6) pela água foliar e no SWIR2 (em torno de 2.200 nm, banda OLI7) pela água e outros compostos bioquímicos presentes nas folhas. Com isso a PC1, ao manter parte da diferença de resposta de vegetação, terminou por realçar a intensa diferença.

Os lineamentos obtidos podem ser vistos na Figura 11, com as imagens interpretadas como fundo.

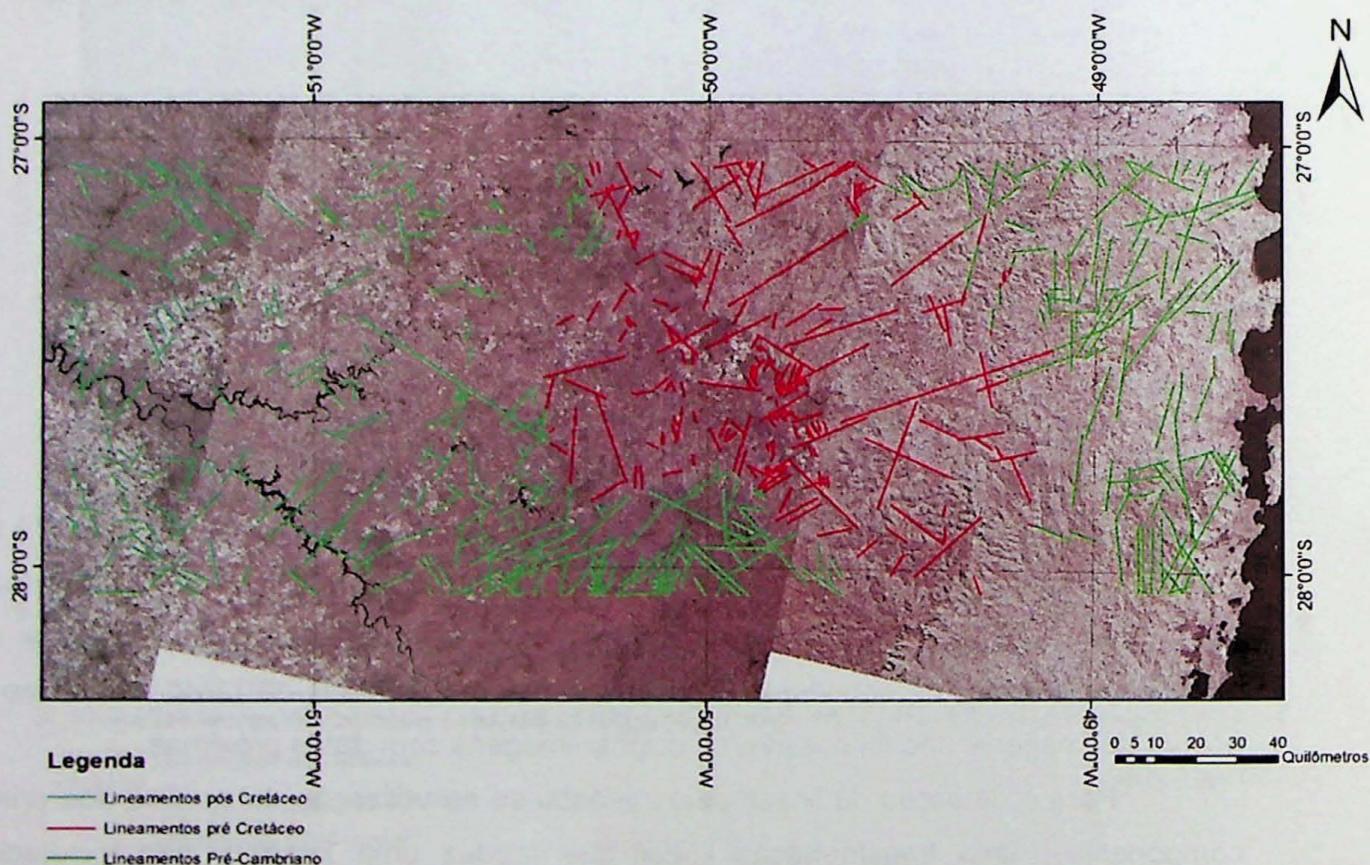


Figura 11 Lineamentos interpretados a partir da banda 5 das imagens OLI 220/079 (órbita e ponto) do dia 26/08/2014, 221/079 (órbita e ponto) do dia 21/01/2014 e 222/079 (órbita e ponto) do dia 28/01/2014.

A compartimentação dos lineamentos nos domínios escolhidos (Proterozoico,

Paleozoico + Mesozoico exceto Formação Serra Geral da Bacia do Paraná e exclusivamente os interpretados na Formação Serra Geral, do Cretáceo) foi feita utilizando o mapa da CPRM como mostrado na Figura 12 abaixo.

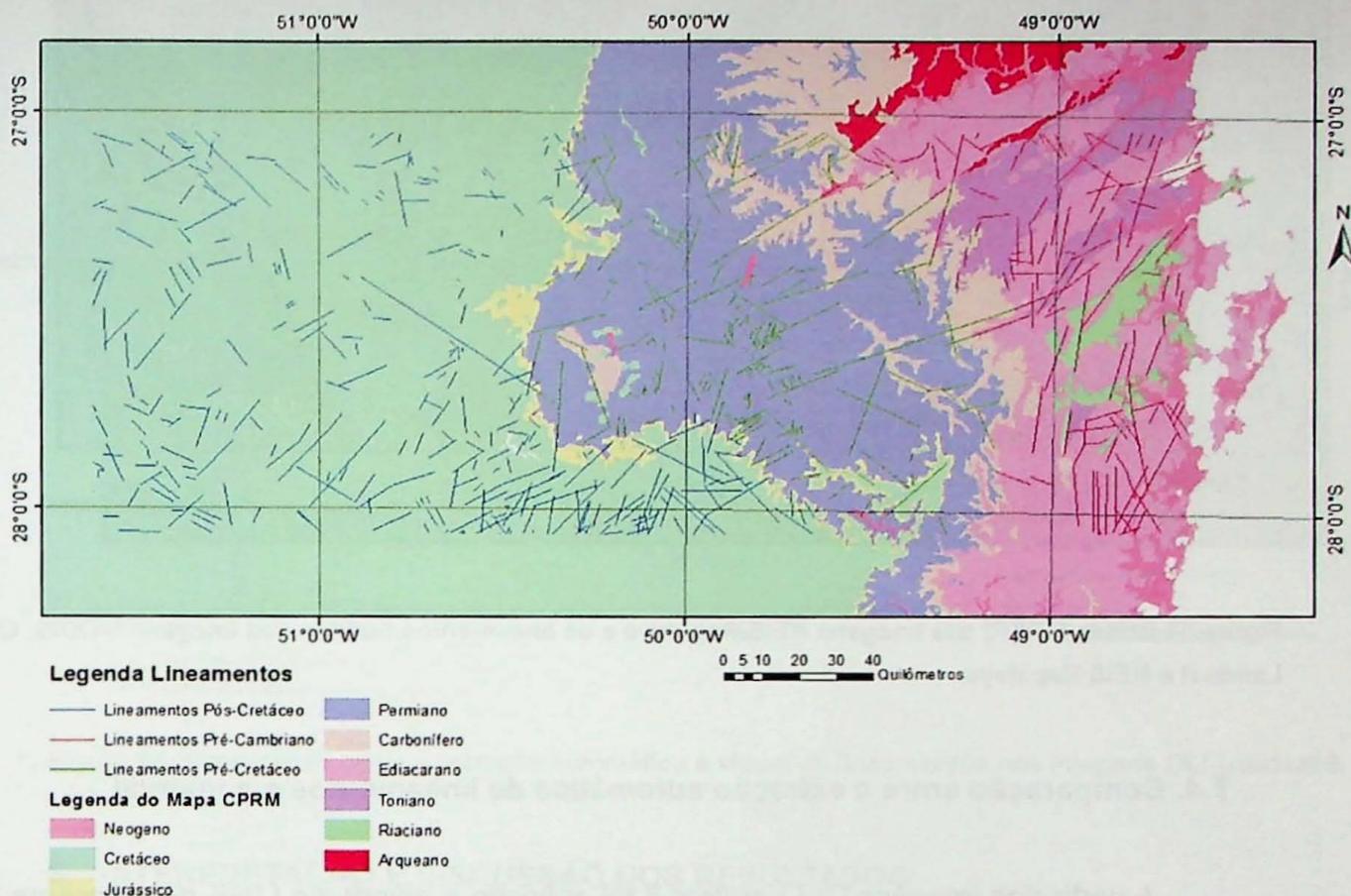


Figura 12 Lineamentos interpretados a partir das imagens OLI Landsat 8 com o Mapa Geológico da folha SG-22 e SH-22 ao milionésimo da CPRM.

### 7.3. Imagens Rapideye

Por fim foi escolhida a localização da região onde seriam identificados os lineamentos a partir das imagens Rapideye. Devido à sua alta resolução espacial (5 m) a área escolhida precisava ser condizente com isso. A escolha de sua área foi a partir das imagens MODIS e OLI Landsat 8, onde foi selecionada a região onde aparecerem todas as principais direções interpretadas tanto nas imagens MODIS quanto nas OLI Landsat 8 para o Pré-Cambriano.

A partir disso, foi obtida a imagem mostrada na Figura 13. Nessa imagem podemos ver nitidamente os lineamentos das imagens MODIS e OLI Landsat 8, entretanto podemos ver também lineamentos muito menores associados a estes maiores.

A obtenção dos lineamentos foi feita com base na banda 5 (NIR) dos sensores REIS que mostrou a melhor textura para a visualização dos lineamentos. Podemos ver os lineamentos extraídos juntamente com seus lineamentos equivalentes na Figura 13

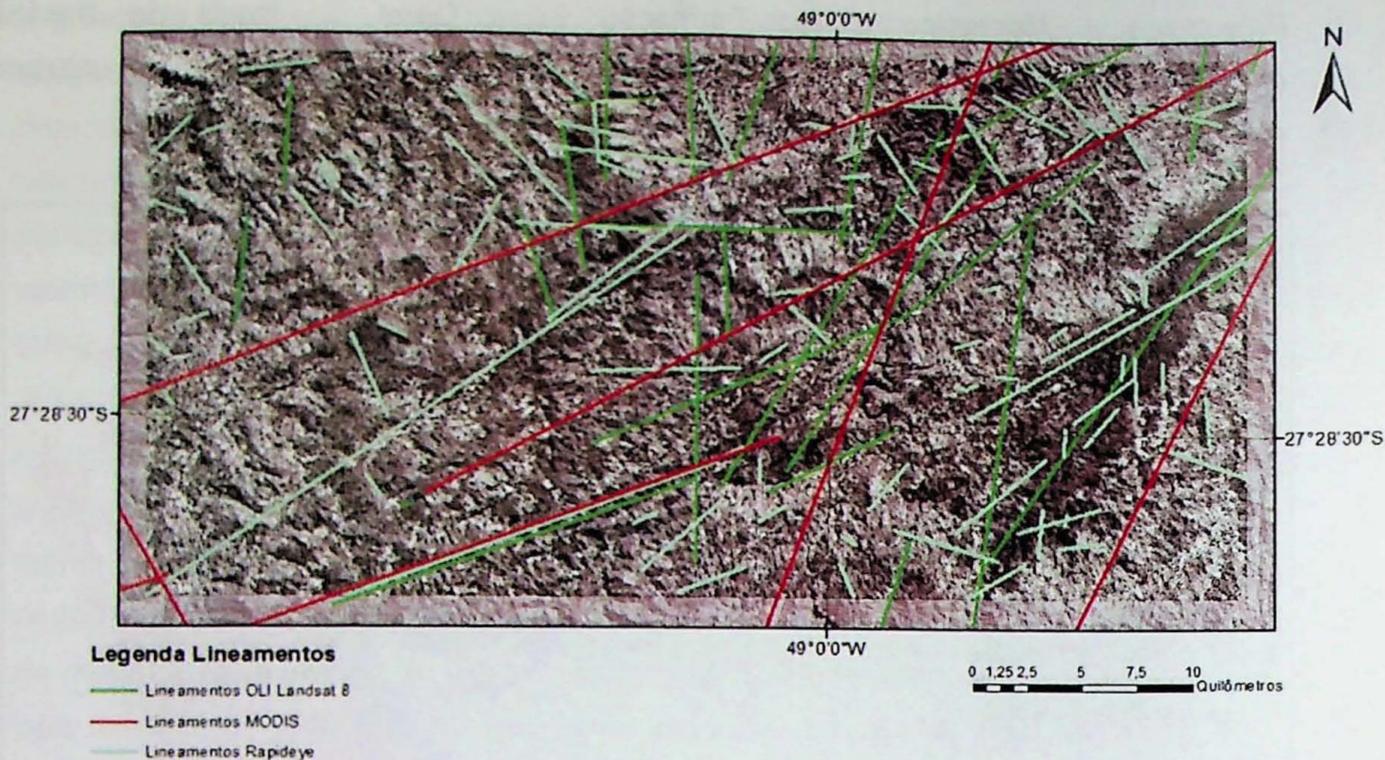


Figura 13 Banda 5 (NIR) das imagens REIS/Rapideye e os lineamentos obtidos das imagens MODIS, OLI Landsat e REIS Rapideye.

#### 7.4. Comparação entre a extração automática de lineamentos e a manual

A partir das imagens OLI Landsat 8 foi aplicado o algoritmo LINE do programa PCI Geomatics 2013 com os parâmetros mostrados na Tabela 4. A partir de seu resultado foi possível comparar seus resultados, como podemos ver na Figura 14.

A partir deste resultado podemos verificar que todos os grandes lineamentos obtidos pela análise visual não foram identificados pela análise automática. Além disso a análise automática identificou ruídos e falsos lineamentos, como divisas agrícolas e outras feições antrópicas, atrapalhando sua visualização.

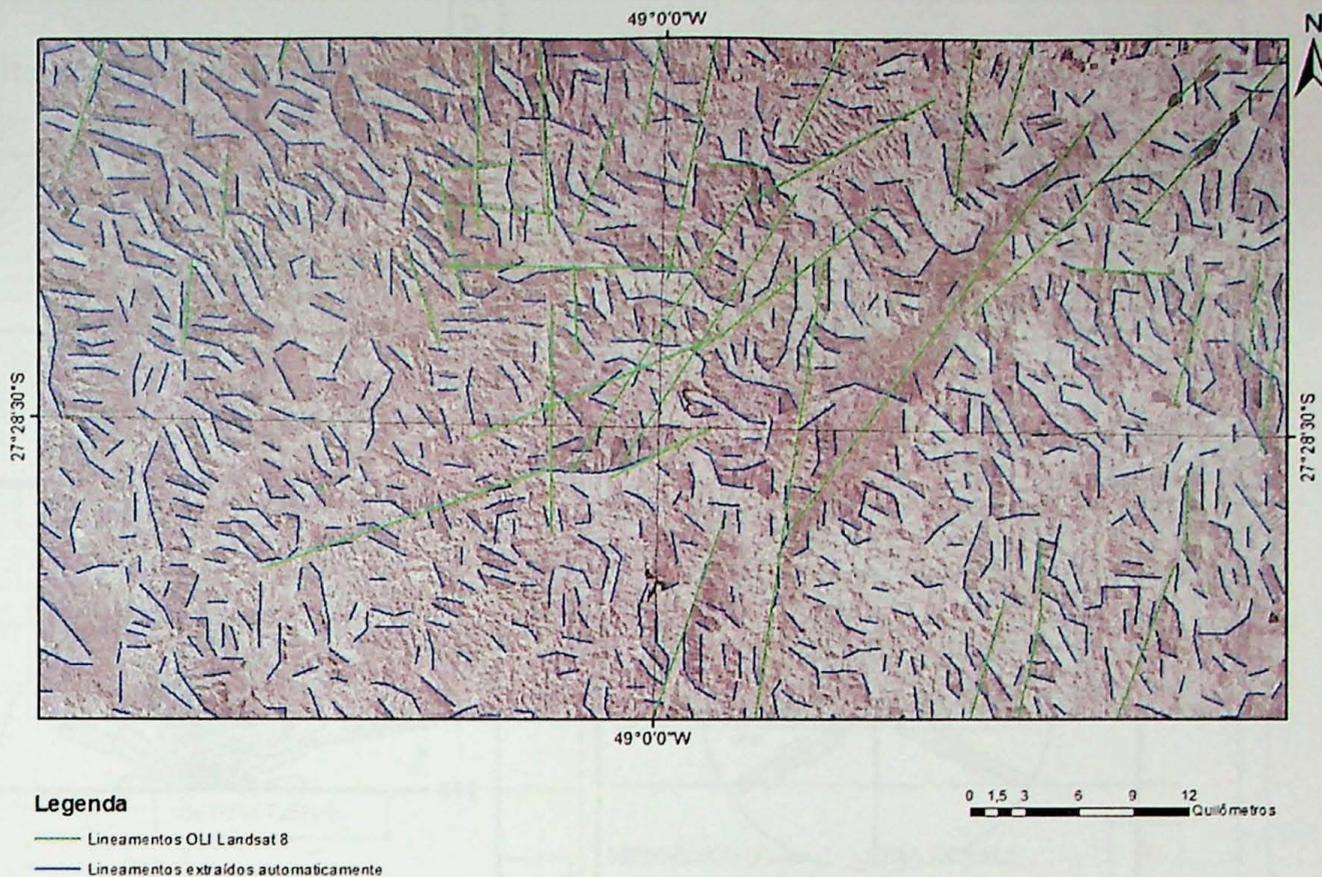


Figura 14 Comparação entre a extração automática e visual de lineamentos nas imagens OLI Landsat 8.

## 8. INTERPRETAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 8.1. Imagens MODIS

A Figura 15 mostra a rosácea do conjunto de lineamentos interpretados nas imagens MODIS. A dominância das direções NW e NE, considerando a grande área da Bacia do Paraná coberta pela imagem MODIS utilizada, é grosso modo comparável à rosácea dos lineamentos apresentados em Zalán *et al.* (1991) (Fig. 16B), embora estes indiquem presença mais significativa da direção E-W e ausência de N-S. Na Figura 16C estão as rosáceas do conjunto de lineamentos interpretados por Jacques (2010) em diferentes sensores para uma longa faixa de cerca de 50 km de largura, desde a costa até a oeste da cidade de Campo Belo do Sul do Estado de Santa Catarina e em ambos a direção em torno de N-S é dominante. Este conjunto de dados sugere que não haja diques associados à direção N-S.

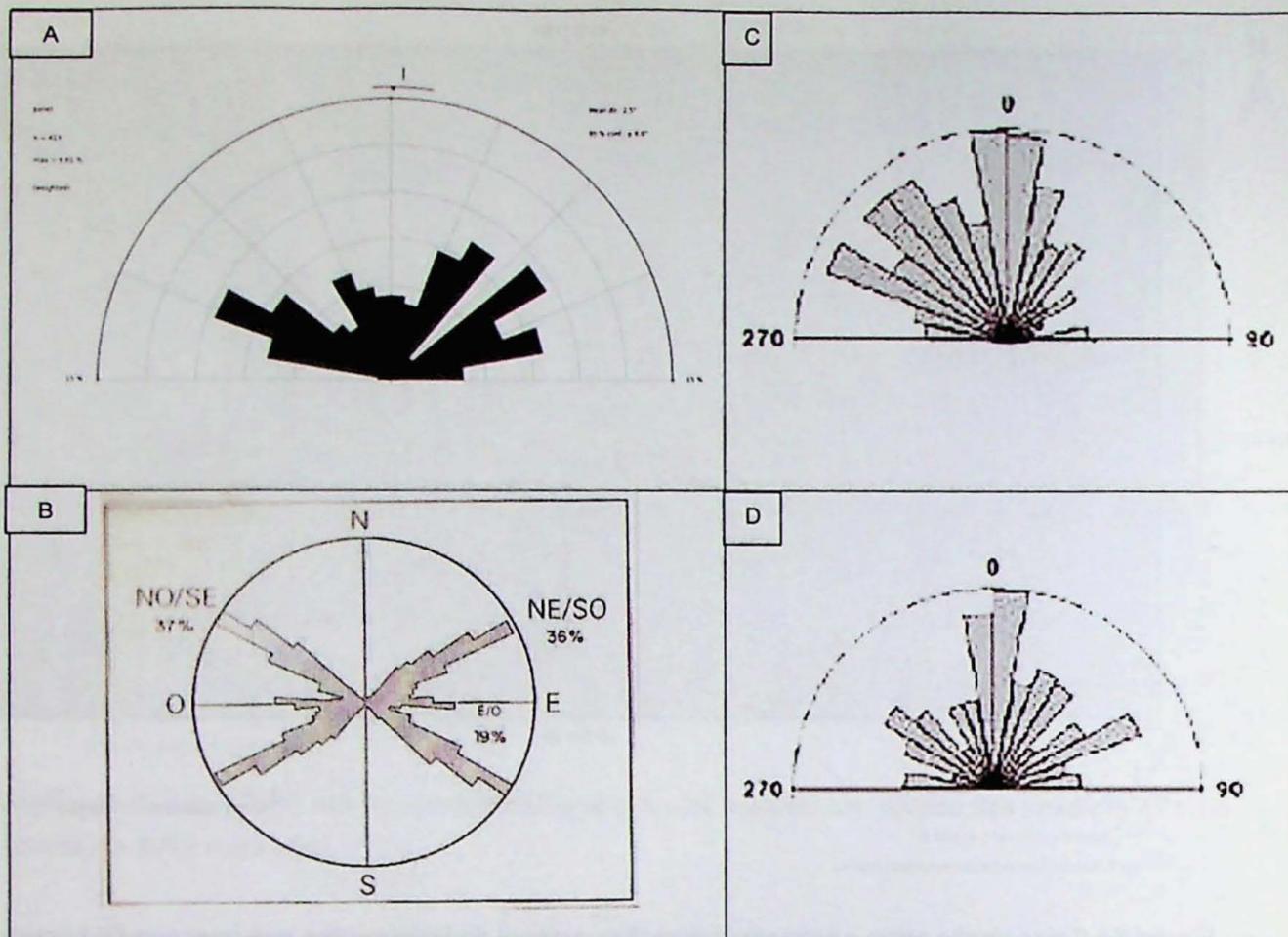


Figura 15 Rosáceas obtidas a partir de dados de lineamento: em A os lineamentos obtidos a partir das imagens MODIS deste trabalho, em B a partir dos lineamentos aeromagnéticos obtidos por Zalán et al. (1991), em C os dados obtidos a partir de imagens TM Landsat 1:500.000 e em D SRTM 3 DEM

Na Figura 16 estão as rosáceas de lineamentos interpretadas em imagens MODIS nas áreas de afloramento do Proterozoico (A), dos sedimentos da Bacia do Paraná anteriores à Formação Serra Geral (B) e em rochas da Formação Serra Geral (C). Para efeito de comparação e discussão estão apresentadas as rosáceas de Jacques (2010) em D, E e F. Observar que em E trata-se de lineamentos do Paleozoico e em B para Paleozoico + Mesozoico anterior à Formação Serra Geral e que a área de Jacques é menor no sentido N-S e maior no E-W. Como observação comum às duas séries de rosáceas observa-se que as direções em torno de N-S estão mais presentes em rochas sedimentares mais antigas que Formação Serra Geral e, sobretudo, na área do escudo. A importância de direções NE nos dados aqui apresentados sobre a Formação Serra Geral sugere influência da reativação de estruturas do Cinturão Dom Feliciano.

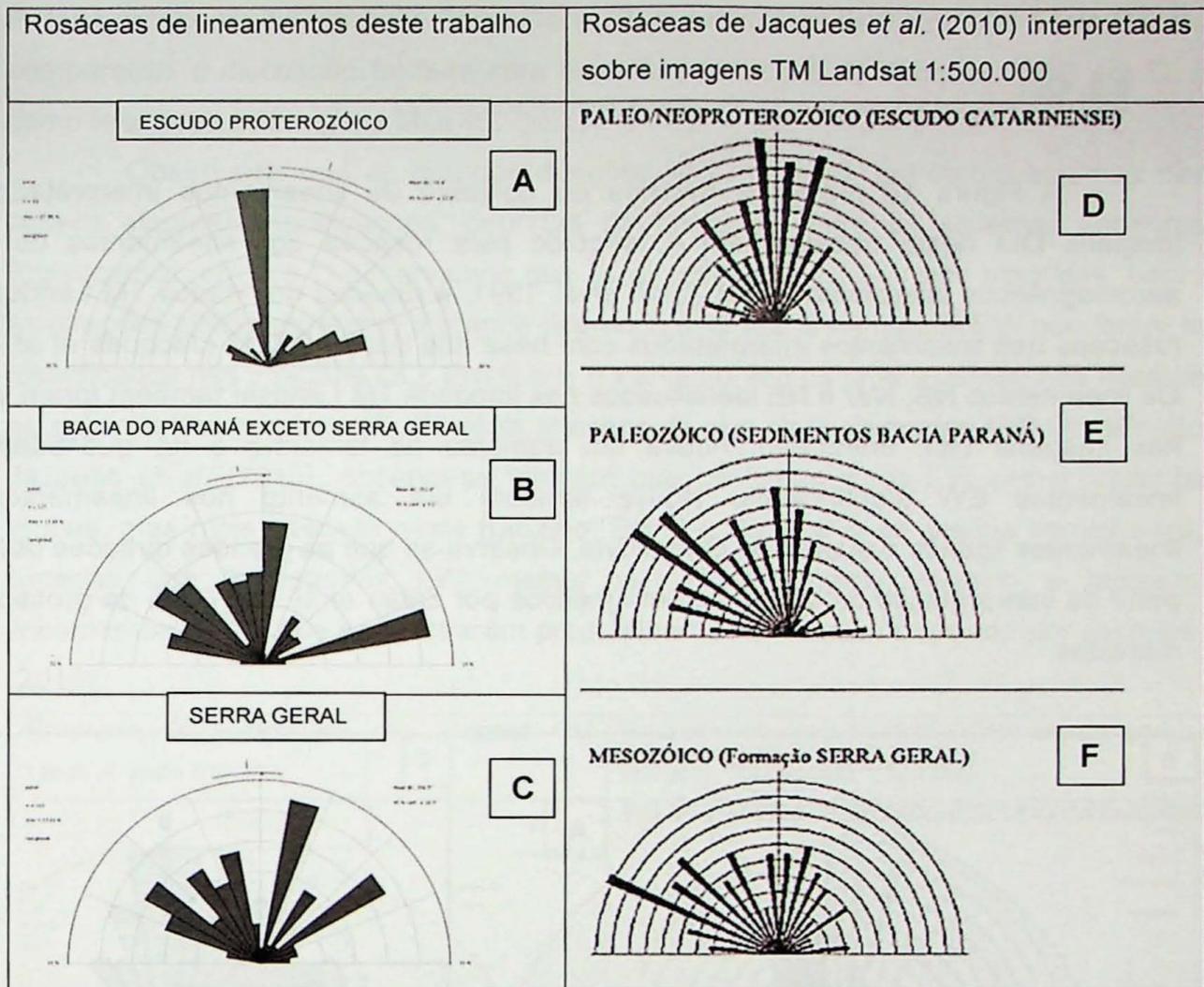


Figura 16 Rosáceas obtidas a partir das imagens MODIS em comparação com as imagens obtidas por Jacques *et al.* 2010 a partir de imagens TM Landsat.

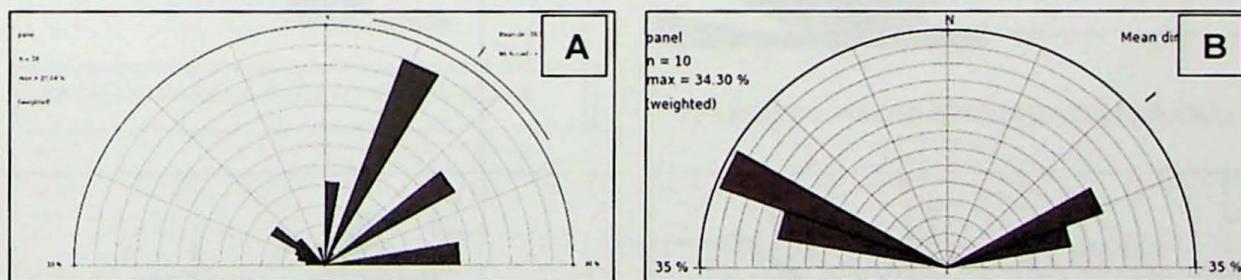


Figura 17 Rosáceas obtidas através da análise de lineamentos das imagens MODIS. Em A lineamentos que cortam toda a área de estudo na Bacia do Paraná e em B que cortam todos os domínios geológicos da área de estudo.

Os grandes lineamentos observados cruzando somente a Bacia do Paraná estão mostrados na Figura 17A. Nesta figura, podemos observar a forte tendência NE e NNE referentes ao rifte de abertura do Gondwana. Os lineamentos das direções descritas no arcabouço estrutural da bacia: N45-65W, N50-70W e EW podem ser observados, mas com os lineamentos E-W sendo evidentes.

Os grandes lineamentos que cortam toda a área de estudo (Fig.17B) são referentes principalmente ao sistema de rifte NW e NE, mostrando que essas são as únicas direções

persistentes entre os três domínios geológicos estudados.

## 8.2. OLI

A Figura 18 mostra a rosácea do conjunto de lineamentos interpretados nas imagens OLI deste trabalho, em A, seguido pela rosácea dos lineamentos de dados aeromagnéticos interpretados por Zalán *et al.* 1991, a rosácea dos dados TM Landsat e as rosáceas dos lineamentos interpretados com base nos dados SRTM (Jacques *et al.* 2010). Os lineamentos NS, NW e NE identificados nas imagens TM Landsat também foram visíveis nas imagens OLI, entretanto, houve um aumento no tamanho e na quantidade dos lineamentos EW identificados. Houve também um aumento nos lineamentos NE, lineamentos ligados a quebra do Gondwana. Observa-se que as grandes direções obtidas, a partir da interpretação de dados aeromagnéticos por Zalán *et al.* 1991 são de grosso modo mantidas.

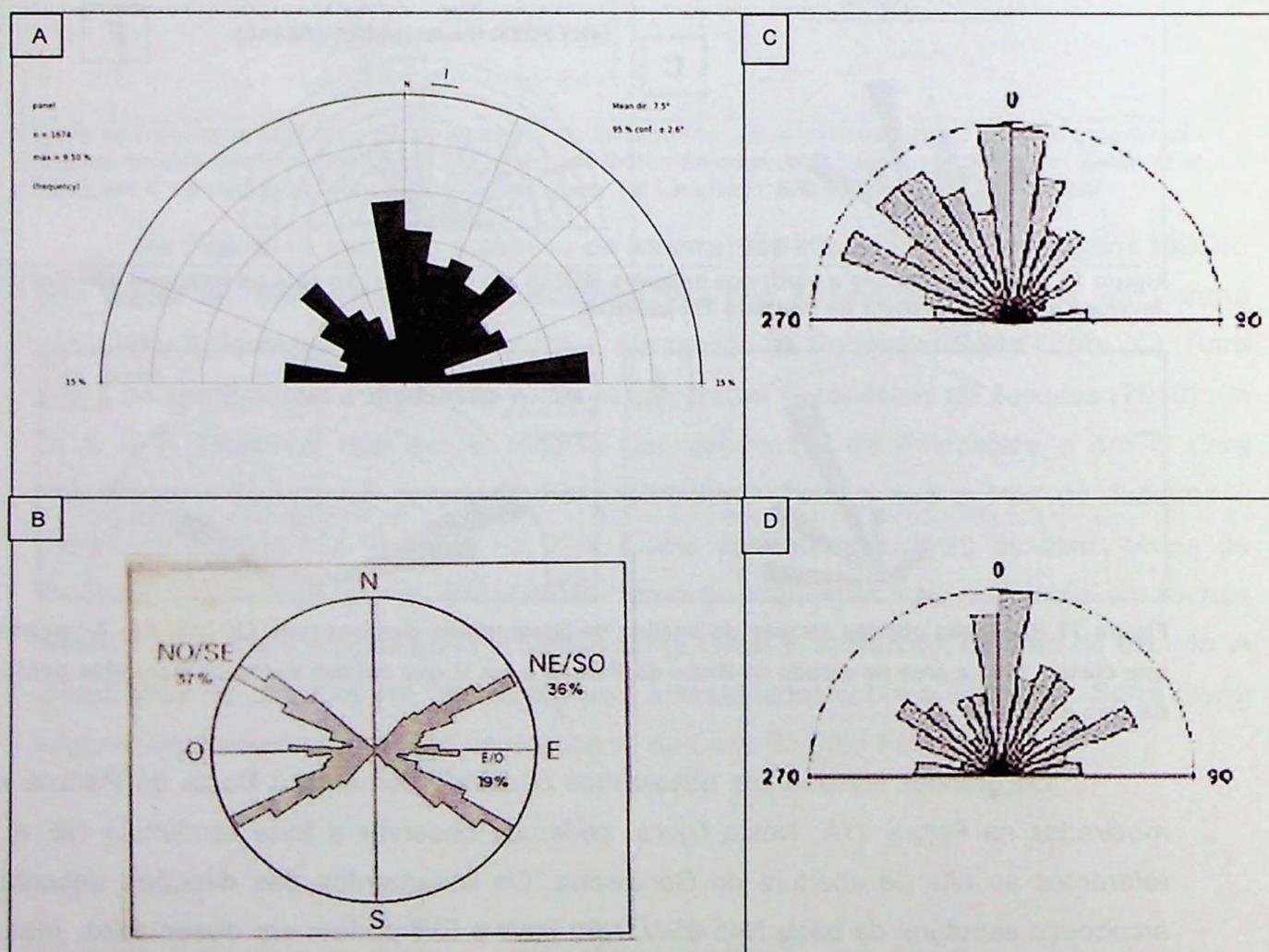


Figura 18 Rosáceas obtidas a partir de dados de lineamento: em A os lineamentos obtidos a partir das imagens OLI Landsat deste trabalho, em B a partir dos lineamentos aeromagnéticos obtidos por Zalán *et al.* (1991), em C os dados obtidos a partir de imagens TM Landsat 1:500.000 e em D SRTM 3 DEM 1:500.000 (Jacques *et al.* 2010)

Na Figura 19 estão as rosáceas dos lineamentos interpretados a partir das imagens

OLI e separadas nas seguintes áreas: o Proterozoico (A), dos sedimentos da Bacia do Paraná anteriores a Formação Serra Geral (B) e nas rochas da Formação Serra Geral (C). A comparação e discussão foi feita com base nas rosáceas de Jacques 2010 em D, E e F como feito para as imagens MODIS.

Observa-se que as grandes direções são mantidas, entretanto algumas direções sofrem algumas modificações, oriundas da diferença entre os sistemas sensores. No Proterozoico, em A e D observamos que as direções NS e NNW são mantidas, bem como as direções NNW, entretanto a grande diferença está nos lineamentos EW que foram melhor identificados nas imagens OLI. Em B e E no entanto vemos uma inversão nos lineamentos, ou seja, os lineamentos NE são mais intensos do que os lineamentos NW identificados por Jacques *et al.* (2010), observa-se também que os lineamentos EW estão presentes em ambas, mas mais intensas neste trabalho. Em C e F observa-se grande semelhança, com exceção dos lineamentos EW, melhor identificados neste trabalho e também nos lineamentos N65W que se mostraram predominante no trabalho realizado por Jacques *et al.* (2010).

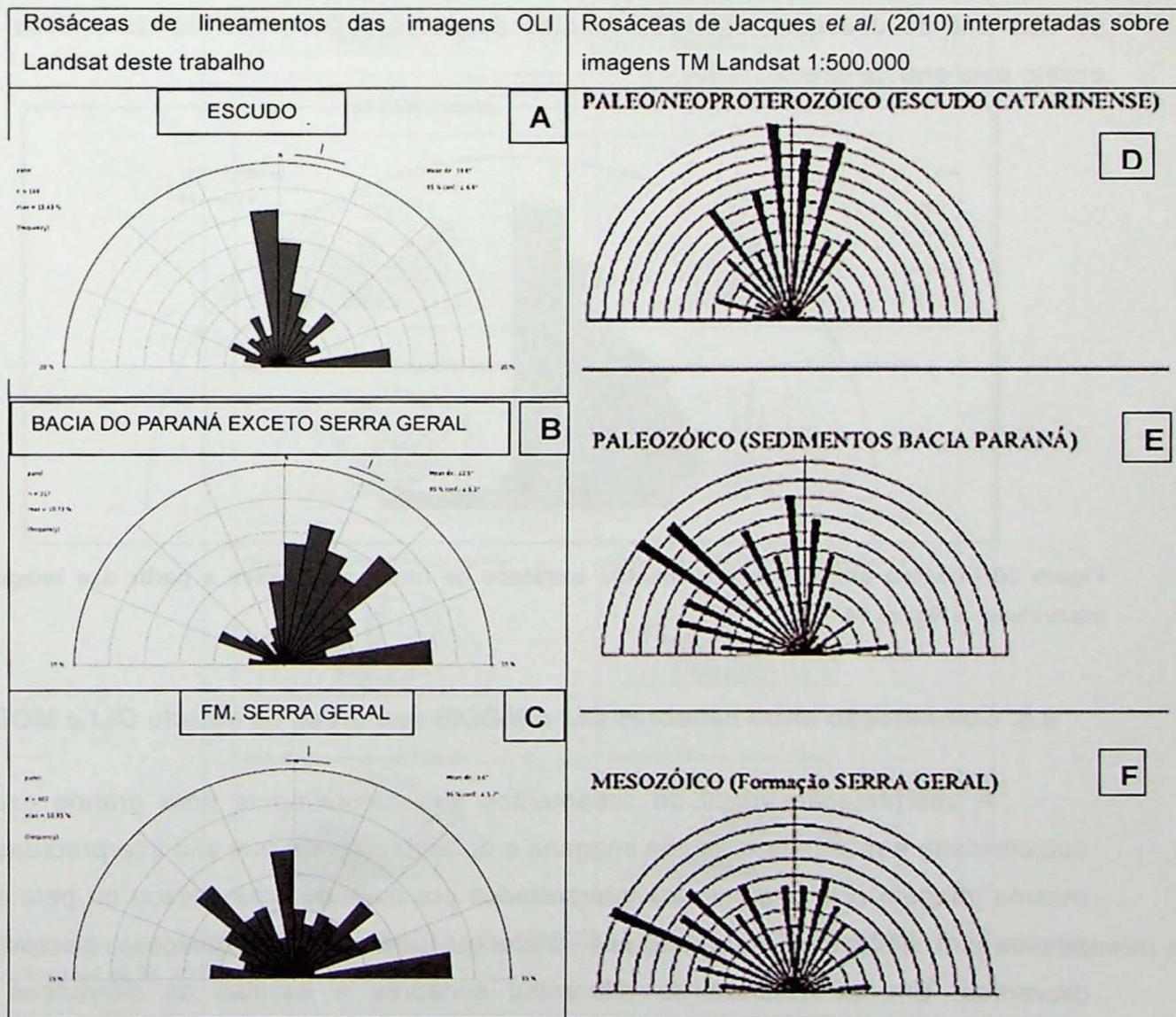


Figura 19 Rosáceas obtidas a partir das imagens OLI em comparação com as imagens obtidas por Jacques *et al.* 2010 a partir de imagens TM Landsat.

### 8.3. Rapideye

Mostrou-se a partir das imagens Rapideye (Fig. 13) sua importância na detecção de lineamentos. Os grandes lineamentos puderam ser melhor interpretados nas imagens MODIS/Terra e OLI Landsat 8, entretanto os pequenos lineamentos associados a estes grandes só puderam ser vistos nestas imagens mostrando sua vantagem em escala de detalhe.

Isso mostra um grande potencial na utilização destas imagens na detecção de lineamentos para fins geológicos.

### 8.4. Comparação entre a extração automática de lineamentos e a visual

A extração automática de lineamentos, assim como o que foi descrito por Hung *et al.* 2005 (tabela 4) mostra sua grande vantagem devido a sua rápida aquisição. Entretanto, neste trabalho foi possível verificar fortemente sua deficiência. Os resultados obtidos a partir de sua análise direcional são discrepantes daqueles obtidos através da análise visual, exceto pela grande direção NNW.

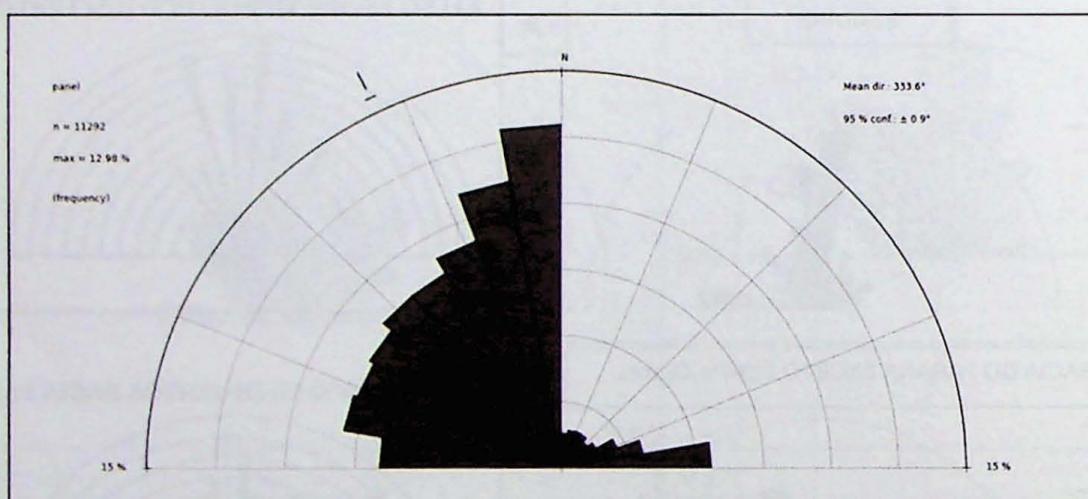


Figura 20 Rosácea obtida dos lineamentos extraídos de forma automática a partir das imagens OLI equivalente a Figura 14.

### 8.5. Comparação entre sensores OLI e MODIS nas áreas de estudo OLI e MODIS

A interpretação visual de lineamentos tem naturalmente uma grande carga de subjetividade e muitos fatores das imagens e do ambiente em que são interpretadas. Uma mesma imagem com lineamentos interpretados por mais de uma pessoa ou pela mesma pessoa em ambientes ou condições diferentes poderá gerar rosáceas discretamente diferentes. Em se tratando de diferentes sensores e escalas as diferenças serão inevitáveis. Jacques *et al.* (2010) interpretaram imagens SRTM e TM Landsat nas escalas 1:100.000 e 1:500.000, apresentadas na Figura 21.

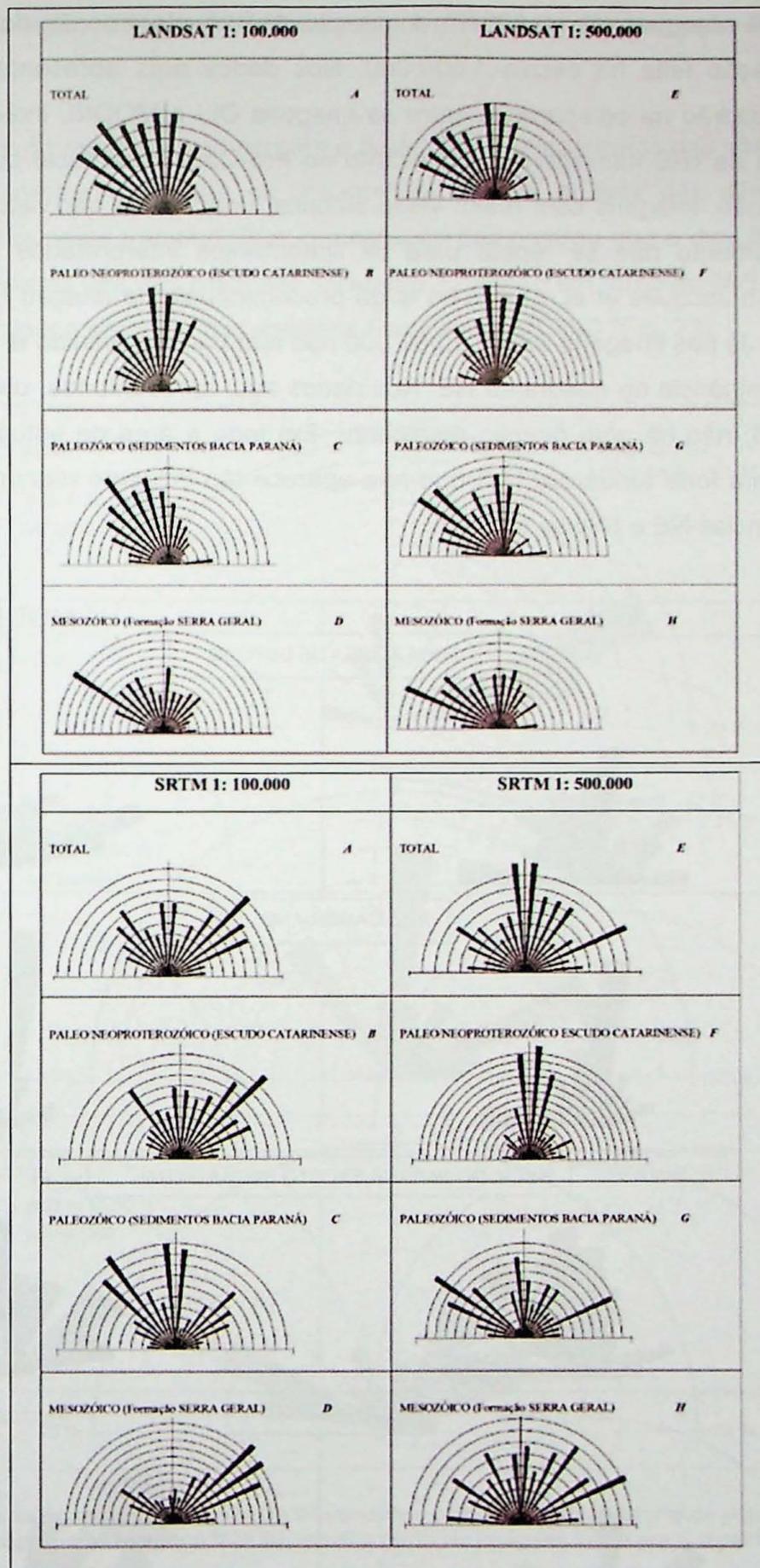


Figura 21 Interpretação de lineamentos em diferentes escalas em imagens TM e MDT SRTM-3 (extraído de Jacques et al. 2010).

Dada a diferença entre as resoluções espaciais dos sensores estudados, essa diferença também pode ser vista neste trabalho. É interessante observar que nos dados

SRTM de Jacques et al. (2010) a direção N-S é claramente dominante apenas na interpretação feita na escala 1:500.000. Nos dados aqui apresentados encontramos o mesmo padrão na comparação entre as imagens OLI e MODIS, indicando que a direção em torno de N-S não apenas é relevante no Pré-Cambriano local como exige, para sua visualização, imagens com maior visão sinótica, como pode ser visto na Figura 22. Este comportamento não se repete para os lineamentos interpretados na Formação Serra Geral. Em Jacques et al. (2010) há larga predominância da direção NW nas imagens TM Landsat. Já nas imagens SRTM 1:500.000 não tem padrão definido e, na escala 1:100.000 clara dominância no quadrante NE. Nos dados aqui apresentados, utilizando imagens OLI e MODIS, não há uma direção dominante. Em toda a área de estudo, nas imagens OLI temos uma forte tendência N-S que não aparece tão influente nas imagens MODIS, mas as tendências NE e NW se mantêm.

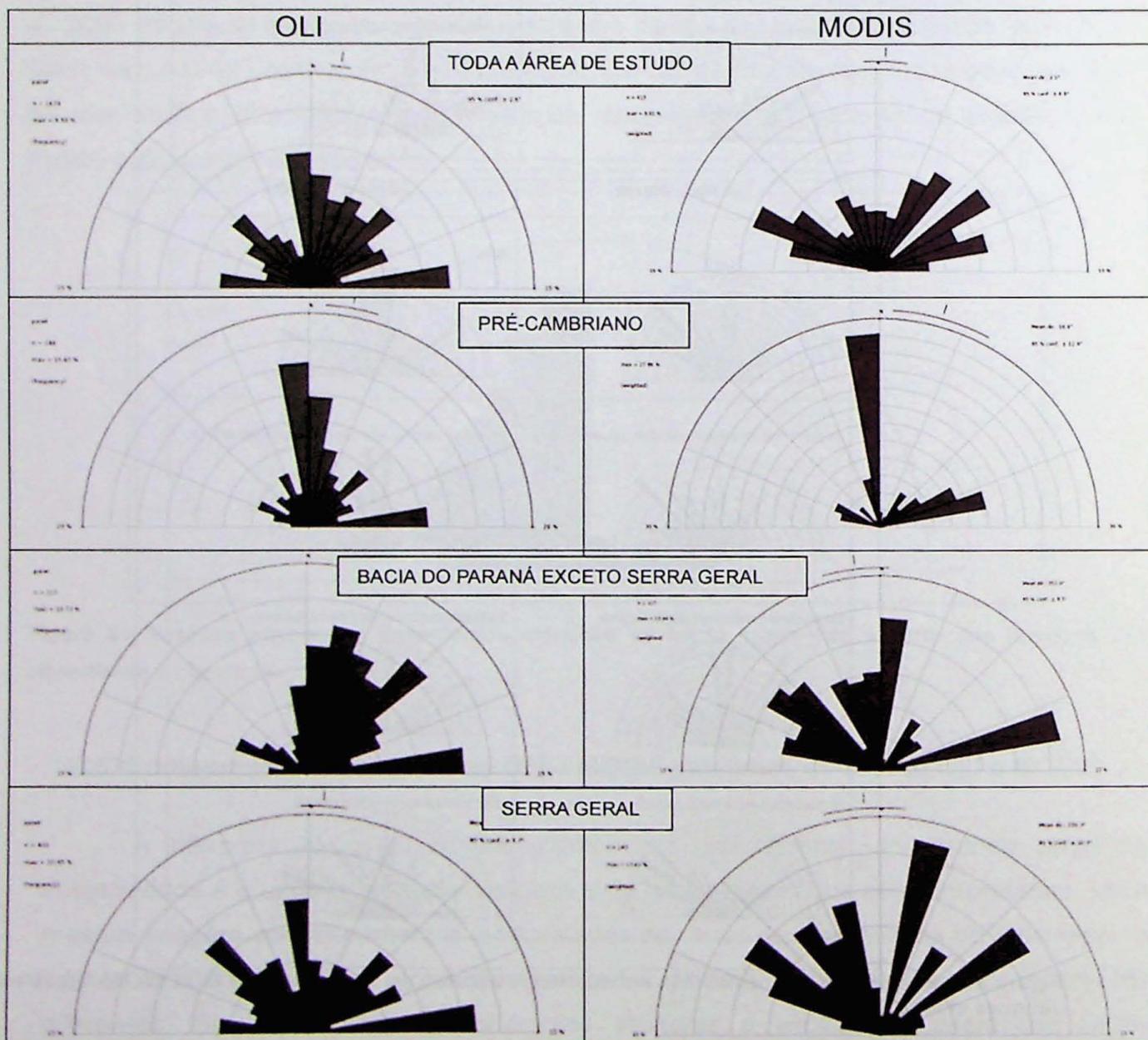


Figura 22 Rosáceas de lineamentos obtidos a partir dos dados de lineamentos obtidos das imagens MODIS e OLI.

## 8.6. Comparação entre os lineamentos identificados nas imagens Rapideye, OLI e MODIS

A partir da região escolhida para a detecção de lineamentos das imagens Rapideye, foi feita uma comparação entre os lineamentos obtidos através das diferentes imagens orbitais utilizadas neste trabalho. Sua comparação demonstrou que a direção N50-70E está igualmente presente nas três rosáceas enquanto a direção em torno de N-S é dominante na imagem OLI e pouco presente nas imagens Rapideye e MODIS (Fig. 23).

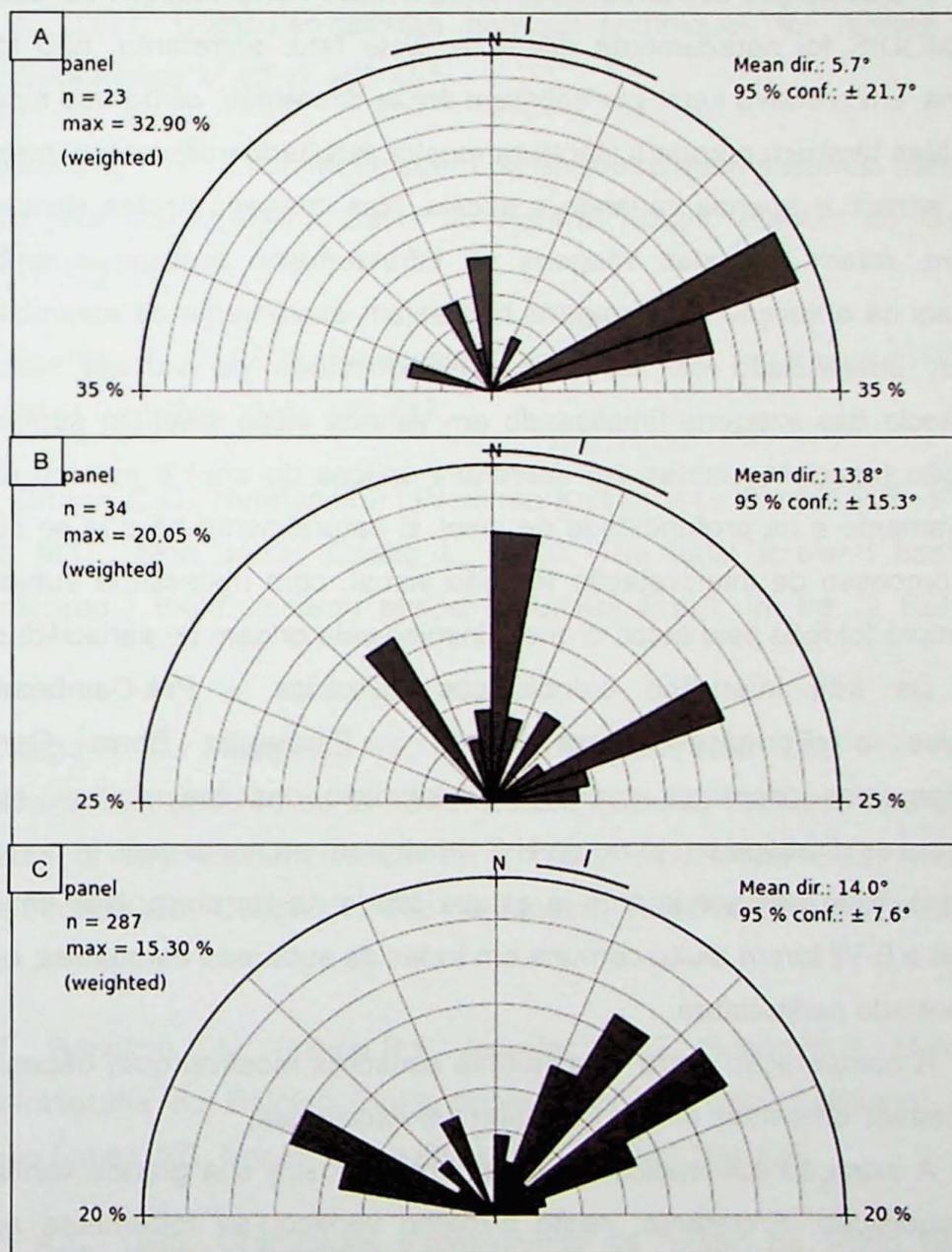


Figura 23 Rosáceas construídas através de lineamentos obtidos na área abrangida pela imagem Rapideye. Em A a partir de imagens MODIS, em B a partir de imagens OLI e em C a partir de imagens Rapideye.

As imagens Rapideye possuem maior quantidade de lineamentos e conseqüentemente maior detalhe, seguido pelas imagens Landsat e MODIS, respectivamente. Entretanto esse resultado não demonstra necessariamente que as

imagens Rapideye são superiores na detecção de lineamentos, apenas que nessa escala de detalhe essas imagens foram capazes de detectar melhor esses lineamentos, uma vez que a resolução espacial das outras imagens é inferior, impossibilitando a detecção de estruturas menores. Por outro lado a visão sinótica é pior e isso pode levar à não visualização de longos lineamentos com expressão discreta.

## 9. CONCLUSÕES

A distribuição das direções de lineamentos interpretados nas imagens dos sensores OLI e MODIS foi notadamente diferente. Este fato, entretanto, não foi considerado um problema, em primeiro lugar por cobrirem áreas diferentes, ainda que extensas e na mesma região. Mas também porque a literatura mostra resultados diferentes, mesmo tratando-se do mesmo sensor e apenas variando a escala. Nas imagens destes sensores, bem como na Rapideye, foram utilizadas imagens no infravermelho próximo e embora os intervalos espectrais na obtenção das imagens não sejam exatamente os mesmos esta questão não deve ter influenciado os resultados. Às questões da variada resolução espacial e abrangência das imagens (implicando em variada visão sinótica) somam-se variações na iluminação (imagens obtidas em diferentes épocas do ano) e mesmo do realce obtido no processamento e na profundidade de *pixel*. E naturalmente há que se considerar o fato de todo o processo de interpretação ter sido visual, com necessária subjetividade envolvida. Mas sempre foi feita pelo autor, o que minimiza esta origem de variabilidade.

Os três intervalos cronológicos utilizados – Pré-Cambriano, Paleozoico + Mesozoico pré-Formação Serra Geral e Formação Serra Geral – mostraram comportamentos diferentes quanto à distribuição dos lineamentos. Na porção do Pré-Cambriano as direções em torno de N-S mostraram-se muito mais importantes que na Bacia do Paraná. Este comportamento já estava citado na literatura. Nas imagens OLI direções próximas a E-W foram muito comuns em todas as subáreas estudadas, em quadro diferente do encontrado na literatura.

A comparação entre os sistemas sensores mostrou que, dependendo da escala a ser mapeável, diferentes imagens podem ser escolhidas.

A extração automática de lineamentos mostra sua grande vantagem devido a sua rápida aquisição. Entretanto, neste trabalho verificou-se fortemente sua deficiência. Os resultados obtidos a partir de sua análise direcional são discrepantes daqueles obtidos através da análise visual, exceto pela grande direção NNW.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdullah, A. Akhir, J. A.; Abdullah, I.; A Comparison of Landsat TM and SPOT Data for Lineament Mapping in Hulu Lepar Area, Pahang, Malaysia. *European Journal of Scientific Research*. Vol.34 No.3, p.406-415, 2009.

Almeida, F. D. 1967. Origem e evolução da Plataforma Brasileira. *Bol., Div. Geol. Min., Dep. Nac. Prod. Min.* 241

Anuta, Paul E., 1977, Computer-assisted analysis techniques for remote sensing data interpretation: *Geophysics*, v. 42, p. 468-481.

Appi, C. J., Rostirolla, S. P. 2004. Modelagem da anisotropia em sistemas fraturados a partir de estudos de alta resolução na Bacia do Paraná, Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, 12(1), 125-147.

Artur, P. C., Soares, P. C. 2008. Paleoestruturas e petróleo na Bacia do Paraná, Brasil. *Brazilian Journal of Geology*, 32(4), 433-448.

Basei M.A.S., Drukas C.O., Nutman A.P., Wemmer K., Danyi L., Santos P.R., Passarelli C.R., Campos Neto M.C., Siga Jr O., Osako L., 2010. The Itajaí foreland basin: a tectono-sedimentary record of the Ediacaran period, Southern Brazil. In: *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch)*.

Basei M.A.S., Siga Jr. O., Masquelin H., Harara O.M., Reis Neto J.M., Preciozzi P.F. 2000. The Dom Feliciano Belt and Rio de la Plata Craton: Tectonic evolution and correlation with similar provinces of southwestern Africa. In: *Cordani U.G, Milani E.J., Thomas Filho A., Campos D.A., Intern. Geol. Congr., 31, Rio de Janeiro, Tectonic evolution of South America*, p.311 – 334

Bitencourt M.F., Bongioiolo E.M.; Philipp R.P.; Morales L.F.G.; Rubert R.R.; Melo C.L.; Luft Jr. J.L. 2008. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, Na região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. *Ver Pesq em Geoc (UFRGS)* 35: 109-136

Bitencourt M.F.A.S. 1996. Granitoides sintectônicos da região de Porto Belo, SC: Uma abordagem petrológica e estrutural do magmatismo em zonas de cisalhamento. Porto Alegre, Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 310.

Bitencourt M.F.A.S., Bongiolo E.M., Philipp R.P., Morales L.F.G, Rubert R.R., Melo C.L., Luft Jr. J.L.2008. Estratigrafia do Batólito Florianópolis, Cinturão Dom Feliciano, na região de Garopaba-Paulo Lopes, SC. Pesquisas em Geociências 35: 109-136.

Bitencourt M.F.A.S., Hackspacher P.C., Stoll L.V. 1989. A Zona de Cisalhamento Major Gercino- Santa Catarina. *In: Simp.Nac.Est.Tect*, 2. Fortaleza, 11, 214-215

Bizzi L. A., Schobbenhaus C., Vidotti R. M., Gonçalves J. H., Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil., CPRM, Brasília, 2003, 292-314

Castro N.A., Crósta A.P., Ferreira F.J., Basei M.A.S., Pascholati M.E. 2003. Quadro geológico regional da porção do Embasamento Pré-Ordoviciano de Santa Catarina com base em imagens Landsat-5/TM e aerogeofísicas. *Revista Brasileira de geociências* 33: 161 – 172.

Conceição R.A.C., Silva A.Q., 2013, Extração automática de lineamentos utilizando imagens SRTM, Landsat ETM+ e ALOS PALSAR na região de Nobres, MT. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, PR, 3688 - 3695*

Ferreira, A. C., Almeida, T. I. R. (1989). Tectônica transcorrente e imagens TM-LANDSAT aplicadas à prospecção de fluorita e barita em Santa Catarina. *Rev. Bras. de Geociências*, 19(2), 207-223.

Fontanel, A., B.C. Lallemand, 1975, Enhancement of Landsat imagery by combination of multispectral classification and principal component analysis, *Proceedings of the NASA Earth Resources Survey Symposium*, IB, p.991-1012.

Fragoso-Cesar A.R.S. 1980. O Cráton Rio de La Plata e o Cinturão Dom Feliciano no Escudo Sul-riograndense. *In: SBG, Cong. Bras. Geol. 31, Balneário Camburiú, 1980. Anais*, 2879-2892.

Gillespie, A\_ R., 1980, Digital techniques of image enhancement. p. 139-226 *in* B. S. Siegal and A. R. Gellespie, editors, *Remote Sensing in Geology: New York, John Witey & Sons*

Hartmann L.A., Silva L.C., Orlandi Filho V. 1979. O Complexo Granulítico de Santa Catarina: Descrição e Implicações Genéticas. *Acta Geol. Leopold.* 6:93-112

Hasui Y., 2010. A grande colisão pré-Cambriana do sudeste brasileiro e a estruturação regional. *Geociências*, v. 29(2):141-169

Hasui Y., Carneiro C.D.R., Coimbra A.M. 1975. The Ribeira Folded Belt. *Rev. Bras. Geoc.* 5: 257 – 266

Heilbron M., Pedrosa-Soares A.C., Campos Neto M., Silva L.C, Trouw R.A.J., Janasi V.C. 2004. A Província Mantiqueira. In: V.Mantesso-Neto, A. Bartorelli, C.D.R. Carneiro, B.B. Brito Neves (eds.) O Desvendar de um Continente: A Moderna Geologia da América do Sul e o Legado da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Ed. Beca, cap. XIII, 203-234

Hobbs, W. H., 1904, Lineaments of the Atlantic border region: Geol. Soc. America Bull., v. 15, p. 483-506. 1912, Earth features and their meaning: New York, Macmillan Co., 506 p.

Hung L.Q., Batelaan O., De Smedt F., "Lineament extraction and analysis, comparison of LANDSAT ETM and ASTER imagery. Case study: Suoimuoi tropical karst catchment, Vietnam" Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology V, 2005

Jacques P. D.; Machado R.; Nummer A.R. 2010. Lineamentos estruturais na borda leste da Bacia do Paraná em Santa Catarina: análise multiescala com base em imagens LANDSAT e SRTM. Pesquisas em Geociências vol.37 (2): 117 – 131

Jacques, P. D., Machado, R., Oliveira, R. G. D., Ferreira, F. J. F., Castro, L. G. D., Nummer, A. R. (2014). Correlation of lineaments (magnetic and topographic) and Phanerozoic brittle structures with Precambrian shear zones from the basement of the Paraná Basin, Santa Catarina State, Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, 44, 39-54.

Kiran Raj., S.A. Ahmed., "Lineament extraction from Southern Chitradurga Schist belt using Landsat TM, ASTERDEM, e Geomatic Techniques", International Journal of Computer Applications, Volume 93, N° 12, May 2014

Machado, R.; Endo, I. 1994. Superposição Cinemática Brasileira no Cinturão de Cisalhamento Atlântico na Cunha de Guaxupé. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 38, Camboriú, Boletim de Resumos Expandidos, 1: 269-271.

Madani, A. A. Selection of the optimum Landsat Thematic Mapper Bands for automatic lineaments extraction, Wadi Natash Area, South Eastern Desert, Egypt. 22° Asian Conference on Remote Sensing, 5-9 November 2001, Sigapore. Cairo University, Faculty of Science, Geology Department, Giza, Egypt.

Milani E. J., Melo J.H.G., Souza P.A., Fernandes L.A., França A.B., 2007, Bacia do Paraná. B. Geoci. Petrobras, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, 265-287.

Milani E. J., Ramos, V.A., 1998. Orogenias Paleozoicas no domínio sul-ocidental do Gondwana e os ciclos de subsidência da Bacia do Paraná. Rev. Bras. Geoc. 28:473 – 484.

Milani E.J. 1997. Evolução tectono-estratigráfica da Bacia do Paraná e seu relacionamento

- com a geodinâmica Fanerozoica do Gondwana Sul-Occidental. Tese (Doutorado)- Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997. 240
- Milani E.J. 2004. Comentários sobre a origem e a evolução tectônica da Bacia do Paraná. In: Montesso-Neto, V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. (eds.). Geologia do Continente Sul-Americano- evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Ed. Becca, 265-279.
- Milani E.J.; Faccini U.F.; Scherer C.M.; Araújo L.M.; Cuopertino J.A. 1998. Sequences and stratigraphic hierarchy of the Paraná Basin (Ordovician to Cretaceous), Southern Brazil. *Boletim IG-USP: Série Científica*, v.29: 125 – 173.
- Milani, E. J., França, A. B., & Schneider, R. L. (1994). Bacia do Paraná. *Boletim de Geociências da PETROBRÁS*, 8(1), 69-82.
- Morgan W.J. 1981. Hot spot tracks and the opening of the Atlantic and Indian oceans In: *The Sea*, editado por C.E. Milani, p. 443 – 487, John Wiley & Sons, New York, 1981
- O'Connor J.M.; Duncan R.A. 1990. Evolution of the Walvis Ridge- Rio Grande Rise hot spot system: Implications for African and South American plate motions over plumes. *Journal of Geophysical Research*, 95(B11), p.17475 – 17502,
- O'Leary, D.W., Friedman, J.D., Pohn, H.A., 1976. "Lineaments, linear, lineation-some proposed new standards for old terms", *Geological Society of America Bulletin* 87, 1463–1469,
- Qari, M. H. T., Madani, A. A., Matsah, M. I. M., & Hamimi, Z. (2008). Utilization of Aster and Landsat data in geologic mapping of basement rocks of Arafat Area, Saudi Arabia. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 33(1C), 99-115.
- Quintas, M. C. L., Mantovani, M. S. M., & Zalán, P. V. (1999). Contribuição ao estudo da evolução mecânica da Bacia do Paraná. *Brazilian Journal of Geology*, 29(2), 217-226.
- Riccomini C., Almeida R.O., Turra B.B., Chamani M.A.C., Fairchild T.R., Hachiro J. 2005. Reativação de falha do embasamento causa sismicidade no Permotriássico da Bacia do Paraná. In: SBG, X Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos e IV International Symposium on Tectonics. Bol. Res. Exp., Curitiba, PR. p. 18-20
- Riccomini, C., Chamani, M. A. C., Agena, S. S., Fambrini, G. L., Fairchild, T. R., & Coimbra, A. M. (1992). Earthquake-induced liquefaction features in the Corumbataí Formation (Permian, Paraná Basin, Brazil) and the dynamics of Gondwana. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 64(3), 210.

- Richards J.A., Xiuping J., "Remote Sensing Digital Image Analysis", 4<sup>th</sup> ed, Springer, 439p
- Roldan, L. F. (2007). *Tectônica rúptil Meso-Cenozóica na região do Domo de Lages, SC* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Roldan, L. F., Machado, R., Steiner, S. D. S., & Warren, L. V. (2010). Análise de lineamentos estruturais no Domo de Lages (SC) com uso de imagens de satélite e mapas de relevo sombreado. *Geologia USP. Série Científica*, 10(2), 57-72.
- Rostirolla S.P., Assine M.L., Fernandes L.A., Artur P.C. 2000. Reativação de paleolineamentos durante a evolução da Bacia do Paraná – O exemplo do alto estrutural de Quatiguá. *Rev. Bras. Geoc.* 30(4): 639 – 648.
- Schowengerdt R.A., *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing.*, 3rd ed Ed. Elsevier (Academic Press), 522pgs, 2007 pg 3
- Schulz Júnior, A.; Albuquerque, L.F.F.; Giffoni, L.E. 1969. *Geologia da Quadrícula Rio do Sul, SM. Porto Alegre, DNPM.* p. 109
- Siga Jr. O., Basei M.A.S., Machiavelli A. 1993. Evolução geotectônica da porção NE de Santa Catarina e SE do Paraná, com base em interpretações geocronológicas. *Rev. Bras. Geoc.* 23 (3): 215-223.
- Siga Jr. O., Basei M.A.S., Reis Neto J.M., Machiavelli A. Harara O.M. 1995. O Complexo Atuba: um cinturão Paleoproterozoico intensamente retrabalhado no Neo-proterozoico. *Geologia USP, Série Científica*, 26: 69-98
- Soares, A. P., Soares, P. C., Bettú, D. F., & Holz, M. (2007). Compartimentação estrutural da Bacia do Paraná: a questão dos lineamentos e sua influência na distribuição do Sistema Aquífero Guarani. *Geociências*, 26(4), 297-311.
- Strugale, M., Rostirolla, S. P., Mancini, F., Portela Filho, C. V., Ferreira, F. J. F., & de Freitas, R. C. (2007). Structural framework and Mesozoic–Cenozoic evolution of Ponta Grossa Arch, Paraná Basin, southern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 24(2), 203-227.
- Vaz D. A., Di Achille G., Barata M. T. e Alves E. I. Manual and Automatic Lineament Mapping: Comparing Results. *Lunar and Planetary Science XXXIX* (2008),
- Zalán, P.V., Wolff, S., Conceição, J.C., Astolfi, M.A.M., Vieira, I.S., Appi, C.T., Zanotto, O.A., Marques A., 1991, Bacia do Paraná. *In Origem e evolução de Bacias Sedimentares.* Petrobrás, Rio de Janeiro, 135-164

DOAÇÃO \_\_\_\_\_  
IGC-USP  
Data: 13 de JS

