UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**Lineamento regional no norte do Pantanal separando áreas
de vegetação fenológica e floristicamente distintas:
evidências de diversidade ambiental originada por
neotectônica**

EDUARDO FRANCISCO RIBEIRO

Orientador: Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida

Co-orientadora: Dra. Natasha Costa Penatti

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

Versão corrigida

São Paulo

2017

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Ficha catalográfica preparada pelo Serviço de Biblioteca e Documentação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo

Ribeiro, Eduardo Francisco

Lineamento regional no norte do Pantanal separando áreas de vegetação fenológica e floristicamente distintas: evidências de diversidade ambiental originada por neotectônica / Eduardo Francisco Ribeiro. - São Paulo, 2017.

101 p. + anexos

Dissertação (Mestrado) : IGc/USP

Orient.: Almeida, Teodoro Isnard Ribeiro de

Co-orient: Penatti, Natasha Costa

1. Pantanal 2. Lineamento de vegetação 3. MODIS
4. Geobotânica 5. Séries temporais I. Título

Eduardo Francisco Ribeiro

**Lineamento regional no norte do Pantanal separando áreas de
vegetação fenológica e floristicamente distintas: evidências de
diversidade ambiental originada por neotectônica**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Recursos Minerais e
Hidrogeologia do Instituto de Geociências da
Universidade de São Paulo como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Sensoriamento remoto

Orientador: Prof. Dr. Teodoro Isnard Ribeiro de
Almeida

Co-orientadora: Natasha Costa Penatti

São Paulo

2017

A Osvaldo, Suely, Aline, Sarah, George e Bebê.

Agradecimentos:

Agradeço a minha família que me apoiou tanto em todas as etapas de minha vida e que ainda me apoia incondicionalmente. A meu pai, Osvaldo Ribeiro Pacheco, pela paciência e por ser meu companheiro de todas as horas. A minha mãe, Suely Fátima de Castro Ribeiro, pelo carinho e conselhos sobre a vida. A minha irmã Sarah de Castro Ribeiro por ser minha companheira de todas as horas e de cervejas. A minha irmã, Aline Mariane Ribeiro, por ter me apoiado na empreitada acadêmica e sempre ter dado bons conselhos.

A Mariana Gomes de Lacerda pelo carinho, paciência e atenção. A todos os meus amigos que sempre me ouviram e deram bons conselhos.

Ao meu orientador Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida pela orientação e pela amizade durante o mestrado. A minha co-orientadora Natasha Costa Penatti pelas horas perdidas me ajudando com a dissertação e também com conselhos práticos da vida. A Cibele Hummel do Amaral e Moreno Botelho pelo auxílio no processamento e pela coleta dos dados de Campo. A todos os professores do Instituto de Geociências aos quais ressalto Prof. Dr. André Negrão, Prof. Dr. Marcos Egydio, Prof. Dr. Caetano Juliani, Prof^a Dra. Lena Monteiro, Prof. Dr. Gustavo Abreu e Prof. Dr. Marcelo Rocha por todos os ensinamentos.

Aos meus amigos e companheiros de Graduação e Pós-graduação Gustavo Ramos, Eduardo Takafuji, Natália Santiago, Luiz Urtiga, Matheus Andrade, João Paulo Abujamra, Mayko Oliveira e Camila Viana pelas dicas acadêmicas e momentos de descontração. A Arthur Endlein Correia pela ajuda sem a qual este trabalho não seria possível e a amizade.

A equipe de pós-graduação, graduação, biblioteca, gráfica e todos os funcionários do IGc-USP. Ao Laboratório de Informática Geológica (LIG) pelo por ter me fornecido os softwares necessários e ter servido como local de aprendizado.

A Loja Fernando Pessoa por ter me acolhido e por ter trazido diversas discussões produtivas a minha vida.

Agradeço a Angelina e Sérgio Baruki, proprietários da fazenda Recreio, que não só hospedaram regamente a equipe que foi ao campo como deram toda a infraestrutura e apoio necessários aos trabalhos de campo, e a Antônio Sebastião Arruda Leite (encarregado de manutenção de máquinas da fazenda e grande conhecedor da área e de sua vegetação), o qual, junto com Sérgio Baruki, levou a equipe a cada ponto escolhido para amostragem.

A CAPES pelo auxílio financeiro através de bolsa de mestrado.

*“Some things in life are bad
They can really make you mad
Other things just make you swear and curse
When you're chewing on life's gristle
Don't grumble, give a whistle
And this'll help things turn out for the best
And always look on the bright side of life”*

(Monty Python's Life of Brian)

RESUMO

O Pantanal é uma bacia sedimentar quaternária ativa de baixa declividade que vem sendo preenchida principalmente por megaleques fluviais. Apesar de possuir um relevo plano e uma geologia à primeira vista monótona, o Pantanal é um mosaico de ambientes distintos. A presença, intensidade e duração das inundações é considerada a mais importante causa da variabilidade ambiental, implicando que pequenas variações no relevo tenham drástica influência florística e fenológica. Estas variações espacialmente expressivas geram lineamentos de vegetação e captura de drenagens e estão associadas à neotectônica, também responsável pela sismicidade desta bacia. Para analisar este lineamento de vegetação, foram utilizadas diversas fontes de dados, incluindo imagens de sensoriamento remoto, dados de aeromagnetometria e dados florísticos obtidos em campo. A principal ferramenta foi uma série de 15 anos de imagens NDVI do sensor MODIS (345 imagens compostas de 16 dias). Com estas imagens foi abordada a fenologia da superfície terrestre (FSP) na área do lineamento, a qual apresenta uma notável variabilidade. Foram obtidos perfis temporais tanto contínuos como de um ano médio e uma série de métricas fenológicas, as quais foram analisadas com o auxílio de perfis de varredura e dados estatísticos. Os resultados da FSP demonstraram a importante senescência associada ao período de seca ocorrendo apenas na porção a SE do lineamento, com a vegetação a NW permanecendo verde mesmo nos meses sem chuvas expressivas. Dados TRMM (2001-2015) mostram não haver grande diferença na pluviosidade da área do lineamento, e, quando comparados aos dados de NDVI, permitiram demonstrar maior relação entre verdor da vegetação e pluviosidade a SE do lineamento e independência do verdor às chuvas locais a NW. Apesar da indicação de que a área NW está mais baixa do que a área SE, isto não pode ser comprovado pelo modelo digital de elevação SRTM. Os dados florísticos obtidos em 17 parcelas de cobertura florestal em avançado estágio de reflorestação foram tratados em três abordagens: ordenação dos índices de similaridade de Jaccard (J), agrupamento hierárquico destes índices e obtenção do J considerando as parcelas feitas de cada lado do lineamento como amostras de uma mesma área (NW e SE). Os dados de geofísica sugerem que este lineamento seja a continuidade de uma zona de falhas a nordeste do Pantanal associada ao Lineamento Transbrasiliiano. O conjunto dos dados caracteriza o lineamento estudado como um limite ambiental entre áreas que inundam com diferentes frequências e durações. Em função da extensão, linearidade e contexto tectônico, considera-se que o lineamento seja a expressão na vegetação de falha com componente vertical de rejeito, mostrando a importância da neotectônica na diversidade ambiental do Pantanal.

Palavras-chave: Pantanal, Lineamento de vegetação, MODIS, Geobotânica, Séries temporais.

Abstract

The Pantanal is an active quaternary sedimentary basin of low slope that is being filled mainly by fluvial megafans. Despite having a flat relief and a geology at first glance monotonous, the Pantanal is a mosaic of different environments. The presence, intensity, and duration of floods are considered the most important cause of environmental variability, implying that small variations in the relief have a drastic floristic and phenological influence. These spatially expressive variations generate vegetation lineaments and stream captures and are associated to neotectonics, responsible for the seismicity of this basin. In order to analyze this vegetation lineament, several data sources were used, including remote sensing images, aeromagnetometry data and floristic data obtained in the field. The main tool was a series of 15 years of MODIS sensor NDVI images (345 composite images of 16 days). With these images, the land surface phenology (LSP) was approached in the region of the lineament, which presents a remarkable variability. Both continuous and one-year average temporal profiles and a series of phenological metrics were obtained, which were analyzed with the aid of swath profiles and statistical data. The LSP results demonstrated the important senescence associated with the drought period occurring only in the SE portion of the lineament, while the NW vegetation remaining green even in the months without expressive rains. TRMM data (2001-2015) showed that there is not a great difference in the rainfall of the region of the lineament, and when compared to the NDVI data, allowed to demonstrate a greater relation between greenness of the vegetation and rainfall to the SE of the lineament and independence of the greenness to the local rainfall to NW. Despite the indication that the NW region is lower than the SE region, this cannot prove by the SRTM digital elevation model. The floristic data obtained in 17 forest plots at an advanced regeneration stage were treated in three approaches: ordering the Jaccard (J) similarity indices, hierarchical clustering of these indices and obtaining the J considering the plots made on each side of the lineament as samples from the same region (NW and SE). The geophysical data suggest that this lineament is the continuity of a fault zone northeast of the Pantanal associated with the TransBrasilian Lineament. The data set characterizes the studied lineament as an environmental boundary between areas that flood with different frequencies and durations. Due to the extension, linearity and tectonic context, it is considered that the lineament is the expression in the vegetation of a fault with vertical displacement component, showing the importance of neotectonics in the environmental diversity of the Pantanal.

Keywords: Pantanal, Vegetation lineament, MODIS, Geobotany, Time-series.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Detalhe da composição colorida falsa-cor (RGB: PC2, PC1, PC3).	8
Figura 2.1 - Parâmetros fenológicos identificados na curva de índice de vegetação.....	14
Figura 3.1 - A esquerda a localização do Pantanal em relação ao Brasil..	15
Figura 3.2 - Mapa de vegetação modificado de WWF-BRASIL (2009) a esquerda e a direita em detalhe a área estudada.	17
Figura 3.3 - Mapa de vegetação modificado de EVANS et al. (2014).	18
Figura 3.4 - Mapa de vegetação modificado de POTT; SILVA (2015).	18
Figura 3.5 - Distribuição espacial das áreas de vegetação tropical sempre-verde na América do Sul derivado do índice LSWI (<i>Land Surface Water Index</i>) (modificado de XIAO et al., 2006).	19
Figura 4.1 - Figura mostrando passo a passo como são obtidos os perfis de varredura.....	29
Figura 4.2 - Composição NIR/MIR/RED em RGB delimitando as duas regiões definidas para a aquisição de dados, em amarelo a área a NW e em ciano a área a SE do lineamento.	31
Figura 5.1 - Imagens Landsat dos sensores MSS de 13/06/1975 (RGB NIR/Green/Blue).....	35
Figura 5.2 - Imagens Landsat dos sensores MSS de 14/08/1982 (RGB NIR/Green/Blue).....	36
Figura 5.3 - Imagens Landsat dos sensores TM de 08/09/1986 (RGB NIR/Green/Blue).....	37
Figura 5.4 - Imagens Landsat dos sensores TM de 08/09/1992 (RGB NIR/Green/Blue).....	38
Figura 5.5 - Imagens Landsat dos sensores TM de 01/07/1996 (RGB NIR/Green/Blue).....	39

Figura 5.6 - Imagens Landsat dos sensores TM de 23/09/2003 (RGB NIR/Green/Blue).....	40
Figura 5.7 - Imagens Landsat dos sensores TM de 17/08/2007 (RGB NIR/Green/Blue).....	41
Figura 5.8 - Imagens Landsat dos sensores TM de 01/08/2013 (RGB NIR/Green/Blue).....	42
Figura 5.9 - Imagens Landsat dos sensores TM de 07/08/2015 (RGB NIR/Green/Blue).....	43
Figura 5.10 - Imagem OLI de 07/08/2015 em RGB (NIR/Green/Blue) com as áreas mapeadas pelo IBAMA como desmatadas em amarelo.....	44
Figura 5.11 - Resultado da magnetometria obtida através dos levantamentos aéreos do projeto Rondonópolis 2025 com os lineamentos interpretados por CURTO et al. (2015) ligados ao Lineamento Transbrasiliano..	46
Figura 5.12 - Localizações das regiões noroeste e sudeste do lineamento em vermelho e as imagens TRMM (pluviosidade mensal) a esquerda e MODIS (NDVI) a direita.....	48
Figura 5.13 - Comparações entre os perfis temporais de pluviosidade das regiões noroeste e sudeste do lineamento estudado.....	48
Figura 5.14 - Comparações entre os perfis temporais de pluviosidade das regiões noroeste e sudeste do lineamento estudado.....	49
Figura 5.15 - Comparações entre os perfis temporais de pluviosidade das áreas contíguas nordeste e sudeste.	50
Figura 5.16 - Série temporal para o período de 2001 a 2015. Em linha contínua preta o comportamento da área a NW do lineamento e em tracejado cinza a área a SE.	52
Figura 5.17 - Variação do NDVI médio em imagens MODIS compostas de 16 dias nas regiões adjacentes ao lineamento.....	53
Figura 5.18 - Imagem em RGB, imagens de NDVI de março julho e outubro, realçando a área onde foi feito o perfil de varredura. O sentido das linhas em	

amarelo são as linhas de amostragem para a geração do perfil. Observe-se que o rumo ao qual os perfis foram extraídos, de NW para SE.	55
Figura 5.19 - Imagem média da métrica máximo. O contraste aqui acontece entre máximos mais altos a noroeste e menores a sudeste.....	57
Figura 5.20 - Perfil de varredura da métrica máximo.	57
Figura 5.21 - Imagem média da métrica mínimo. O contraste ocorre entre valores mínimos mais altos a noroeste e menores a sudeste.	59
Figura 5.22 - Perfil de varredura da métrica mínimo.	59
Figura 5.23 - Imagem média da métrica amplitude. O contraste ocorre entre valores de amplitude menores a sudeste e maiores a noroeste.	61
Figura 5.24 - Perfil de varredura da métrica amplitude.	62
Figura 5.25 - Imagem média da métrica taxa de rebrota. O contraste ocorre entre taxas menores a sudeste e maiores a noroeste.....	63
Figura 5.26 - Perfil de varredura da métrica taxa de rebrota.....	63
Figura 5.27 - Imagem média da métrica taxa de senescência. O contraste ocorre entre taxas de senescência menores a noroeste e maiores a sudeste.....	65
Figura 5.28 - Perfil de varredura da métrica taxa de senescência.	65
Figura 5.29 - Imagem média da métrica produtividade sazonal. O contraste ocorre entre valores menores a noroeste e maiores a sudeste.....	67
Figura 5.30 - Perfil de varredura da métrica produtividade sazonal.	67
Figura 5.31 - Imagem média da métrica produtividade total. O contraste ocorre entre valores menores a noroeste e maiores a sudeste.....	69
Figura 5.32 - Perfil de varredura da métrica produtividade total.....	69
Figura 5.33 - A esquerda o modelo digital de elevação SRTM com suas pequenas variações para o Pantanal, e a direita o SRTM com a vegetação corrigida por O'LOUGHLIN et al. (2016).	71
Figura 5.34 - Imagem da média das 345 imagens de NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.	72

Figura 5.35 - Imagem de desvio padrão das 345 imagens NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.	74
Figura 5.36 - Imagem de desvio médio absoluto das 345 imagens NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.	75
Figura 5.37 - Imagem de variância das 345 imagens NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.	76
Figura 5.38 - Imagem de obliquidade das 345 imagens NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.	78
Figura 5.39 - Imagem de curtose das 345 imagens NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.	79
Figura 5.40 - Localização das parcelas em mosaico de imagens RapidEye obtidas em período de seca. Bandas 543 em RGB	82
Figura 5.41 Exemplo da vegetação da área NW em A e da área SE em B.	84
Figura 5.42 - Dendrograma de aglomeração hierárquica dos J de todo o conjunto de parcelas.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tabela de atributos das imagens dos sensores a bordo dos satélites Landsat (apenas das bandas utilizadas nesta pesquisa).....	22
Tabela 2.2 - Tabela de atributos das imagens dos sensores a bordo da constelação de satélites RapidEye.....	23
Tabela 3.1 - Valores de J entre cada parcela e as parcelas da área, exceto as parcelas de transição. As parcelas a SE do lineamento vermelho e a NW em azul.....	86
Tabela 3.2 – J médio de cada parcela com as demais parcelas da mesma área e com as da outra área. São também listadas as parcelas com florestas similares.	87

Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	O Pantanal	1
1.2	A geobotânica, suas ferramentas e a influência da neotectônica na variabilidade ambiental pantaneira.....	3
1.3	Hipótese.....	9
1.4	Objetivos e justificativas	9
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
2.1	Índices de vegetação.....	10
2.2	Séries temporais de NDVI	11
2.3	Métricas fenológicas	13
3	ÁREA DE ESTUDO	14
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	20
4.1	Materiais	20
4.1.1	Imagens MODIS e o produto MOD13Q1	20
4.1.2	Imagens Landsat.....	21
4.1.3	Imagens RapidEye	22
4.1.4	Imagens Pleiades.....	23
4.1.5	<i>Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)</i>	23
4.1.6	<i>Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)</i>	24
4.1.7	Dados de aerogeofísica.....	25
4.1.8	Softwares utilizados	25
4.2	Métodos	25
4.2.1	Histórico da vegetação na área de estudo	25
4.2.2	Processamento dos dados de aerogeofísica	26
4.2.3	Comparação entre as áreas NW e SE	28
4.2.4	A estatística aplicada a imagens multitemporais	31
4.2.5	Trabalho de campo	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1	Histórico de imagens Landsat da área estudada.....	34
5.2	Geofísica.....	44
5.3	Comparação da variabilidade fenológica entre as regiões NW e SE	46
5.3.1	Comparação dos dados de pluviosidade com os dados de vegetação	46

5.3.2 O perfil sazonal de verdor	51
5.4 Métricas fenológicas	53
5.4.1 Métrica máximo.....	55
5.4.2 Métrica mínimo.....	57
5.4.3 Métrica amplitude	59
5.4.4 Métrica taxa de rebrota.....	62
5.4.5 Métrica taxa de senescência.....	63
5.4.6 Métrica produtividade sazonal.....	65
5.5 Comportamento dos modelos digitais de elevação na área de estudo	69
5.6 Estatística das imagens multitemporais na área de estudo	71
5.6.1 Média.....	71
5.6.2 Desvio padrão, desvio absoluto médio e variância	73
5.6.3 Obliquidade	76
5.6.4 Curtose	78
5.7 Análise dos dados de campo.....	79
5.7.1 Ordenação de parcelas a partir da matriz de índices de Jaccard.....	82
5.7.2 Dendrograma de agrupamento hierárquico	87
6 CONCLUSÕES.....	90

1 INTRODUÇÃO

1.1 O Pantanal

O Pantanal é uma bacia sedimentar quaternária ativa e também a maior área úmida tropical do planeta. Localizada na Bacia do Alto Paraguai (BAP) entre os paralelos 16°S e 22°S e os meridianos 55°W e 58°W, abrangendo 138.183 km² no território Brasileiro (SILVA; ABDON, 1998) e ultrapassando as fronteiras da Bolívia (15.000 km²) e Paraguai (15.000 km²) (JUNK et al., 2011). Considerado pela UNESCO como Patrimônio Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera Mundial, é um ambiente ainda pouco conhecido, devido à sua extrema complexidade, embora existam diversos estudos das mais diversas áreas.

Sua variabilidade ambiental é em parte fruto da proximidade com os Complexos do Cerrado, Floresta Amazônica, Chaco, Mata Atlântica e relictos de Caatinga, mas também o é do complexo regime de inundações, da alternância de longas secas e períodos úmidos, de sua geologia e geomorfologia. Esta rara combinação de fatores ambientais implica numa rica diversidade vegetal que, entretanto, não configura formalmente um bioma: encontra-se a existência, lado a lado, de numerosas espécies xerófitas e mesófilas e mesmo higrófitas (ALHO, 2008), embora existam poucas espécies endêmicas. Foram identificadas no Pantanal 1.863 espécies fanerógamas (POTT; POTT, 1994) e 280 espécies vegetais aquáticas (POTT et al., 2011). A fauna é também rica e muito afetada pelo regime de inundações, com 463 espécies de aves, 113 de répteis (mais de 30 de serpentes) e 132 de mamíferos (ALHO, 2008).

WARREN et al. (2015) explica a importância dos terrenos que cercam o Pantanal na história de nosso planeta, desde o arqueano até o início da formação dessa bacia sedimentar. Seu embasamento registra ciclos de formação de supercontinentes, evidências da origem de formas de vida complexas além de nosso passado de mudanças climáticas. Além disso, esses autores mostram a evolução dos diversos terrenos que cercam essa bacia. Posteriormente, área onde se encontra o Pantanal foi desenvolvida dentro de um domínio de bacias marginais que cercavam o supercontinente Gondwana e servia como ligação entre as bacias do Paraná e do Chaco (ASSINE; SOARES; MILANI, 1994; ASSINE; PERINOTTO, 1998).

A Bacia do Pantanal se instalou após o dismantelamento de uma superfície de aplainamento que nivela os topos dos planaltos de Maracaju-Campo Grande e Taquari-Itiquira a leste e dos planaltos do Parecis e dos Guimarães a norte (ASSINE; SOARES, 2004). Sua geometria é marcada por estruturas do tipo *horst* e *graben*, e as bordas de suas falhas possuem rejeitos de até centenas de metros (ASSINE et al., 2015b). As falhas são evidentes na morfologia da bacia, tanto condicionando a ocorrência de terrenos pré-cambrianos na borda oeste como drenagens aluviais modernas em seu interior e delimitando lobos deposicionais (AB'SABER, 1988) e a sua subsidência (ASSINE; SOARES, 2004). Trata-se de uma bacia sedimentar ativa com depocentro de forma elíptica alongada na direção norte-sul e intensa tectônica dada por movimentação nos planos de falha (USSAMI; SHIRAIWA; DOMINGUEZ, 1999; DIAS et al., 2016). Estas feições formam lineamentos expressivos e capturas de drenagens, incluindo o rio Paraguai a sul da cidade de Corumbá, como apresentado em SOARES; ASSINE; RABELO (1998).

A idade da bacia do Pantanal é incerta devido à carência de dados sobre sua tectônica, cronoestratigrafia, evolução paleogeográfica e processos sedimentares atuais (ASSINE, 2003). Uma idade quaternária para sua origem foi proposta primeiramente por ALMEIDA (1945) e ALMEIDA (1965) e defendida por AB'SABER (1988).

USSAMI; SHIRAIWA; DOMINGUEZ (1999) mostram o Pantanal como uma bacia associada ao último evento compressivo no orógeno andino (~2,5 Ma). Assim, embora não existam dados sobre a idade dos sedimentos mais antigos da bacia, sua idade é estimada com base no seu tempo de subsidência e profundidade. A espessura sedimentar máxima desta bacia é de cerca de 550 m conforme mostrado por USSAMI; SHIRAIWA; DOMINGUEZ (1999) a partir de dados sísmicos.

Seu preenchimento sedimentar é composto por sedimentos fluviais e aluviais provenientes do dessecamento dos arredores e também do retrabalhamento dos sedimentos da Formação Pantanal. A perda do confinamento dos rios em vales na entrada do Pantanal e sua baixa declividade geram estruturas denominadas megaleques (ASSINE; SILVA, 2009), os quais formam um mosaico de megaleques fluviais responsáveis pela carga sedimentar

e geomorfologia da área. Em grande parte destes megaleques há lobos deposicionais ativos. LEIER; DECELLES; PELLETIER (2005) definem megaleques como sendo extensos sistemas distributários com área entre 10^3 e 10^5 km² e baixo gradiente (cerca de 0,1 a 0,01°) e se distinguem dos leques aluviais, menores e com gradientes mais altos. Em função destes baixos gradientes, pequenas alterações no relevo geradas por movimentos tectônicos recentes têm forte influência na intensidade e dinâmica das inundações e, por consequência, nos habitats (ALMEIDA et al., 2015; POTT; SILVA, 2015).

1.2 A geobotânica, suas ferramentas e a influência da neotectônica na variabilidade ambiental pantaneira

Lineamentos são definidos por O'LEARY; FRIEDMAN; POHN (1976) como feições mapeáveis, simples ou compostas por segmentos lineares, cujas partes estão alinhadas de forma retilínea ou levemente curvilínea e que se distinguem do padrão das feições adjacentes. Segundo aqueles autores essas feições podem ter expressão fisiográfica, quando dada por variações no relevo, ou tonal, quando dada por contato entre diferentes tonalidades em imagem de sensoriamento remoto causadas, por exemplo, por mudanças na vegetação. Essas estruturas são frequentemente associadas a estruturas rúpteis que geram desníveis topográficos e deixam lineares cursos d'água, mas também a contatos geológicos e diques, ocasionando diferenças tonais na vegetação e/ou no solo. Sua expressão na vegetação ainda é pouco estudada, entretanto existem vários exemplos de lineamentos de vegetação (LV) associados a atividades recentes de falhas, como mostrado por LYNCH; HUDNUT; JORDAN (2012) e por RYMER et al. (2002). No Pantanal essas feições podem ser geradas por pequenas alterações no relevo que, em função do pequeno gradiente topográfico, são de grande importância para a diversidade ambiental e suportam coberturas vegetais muito diferenciadas como discutido em diversos trabalhos. POTT; POTT (2009) citam que em uma mesma fitofisionomia há diversidade de vegetação associada a diferenças no micro-relevo. Assim LVs podem ser gerados tanto por variabilidade florística como por variações fenológicas detectáveis por fenologia da superfície terrestre, como apresenta ALMEIDA et al. (2015) para o Pantanal.

O lineamento aqui estudado é um lineamento de vegetação com mais de 100 km de extensão situado na área norte do Pantanal, separando dois tipos de

vegetação bastante distintos de forma retilínea, como apresentado em WWF-BRASIL (2009) e EVANS et al. (2014), embora estes autores não comentem a linearidade do contato na área de estudo nem sua possível origem tectônica.

Segundo POTT (1995), dentro de uma floresta à primeira vista homogênea há grandes variações na composição florística em função de sutis diferenças em altura da lâmina d'água ou na profundidade do lençol freático, tempo de residência da inundação, água parada ou corrente, origem fluvial ou pluvial, ou simplesmente distância do corpo d'água. ADÁMOLI (1995) e JUNK et al. (2006) consideram que o principal agente regulador dos processos ecológicos pantaneiros é a flutuação do nível d'água, o qual, em função de pequenas variações no relevo, modifica a geração, intensidade e duração das inundações e controla os organismos vivos ali residentes. O padrão de inundações também é o fator controlador do transporte de sedimentos na bacia que, por sua vez, influencia na retenção de nutrientes dos solos e, conseqüentemente, na sua fertilidade sobre os sedimentos que, na maior parte da bacia, são dominados por areias quartzosas. A monotonia do relevo e suas pequenas variações são causas da alta diversidade ambiental, o que fornece á neotectônica uma notável importância na evolução ambiental do Pantanal, pois rejeitos métricos implicam em rearranjo do habitat local. ASSINE et al. (2015b) consideram terem as falhas e fraturas de direção NE-SW um importante papel no desenvolvimento da paisagem pantaneira, principalmente por seu impacto no nível de base, o qual afeta a presença, duração e intensidade das inundações, fator fundamental para o desenvolvimento das diversas paisagens pantaneiras.

A geobotânica é o estudo do tipo e da abundância vegetal e sua relação com seus solos e a geologia (USTIN et al., 1999). SOARES (2012) a define como a ciência que estuda a expressão fisionômica, morfológica, taxonômica, fenológica e fisiológica da vegetação em função do meio físico onde se estabelece. Georgius Agrícola, um dos precursores da Geologia como ciência na cultura ocidental, em 1556 descreveu padrões de senescência precoce e rebrota tardia nas plantas e nanismo sobre corpos de minério (USTIN et al., 1999), em uma clara conceituação da geobotânica como técnica de prospecção mineral. Apesar disso, o termo geobotânica foi sugerido apenas em 1866 (FULLER, 1920). Sua citação indireta na literatura remonta ao menos a

Teofrasto, discípulo de Aristóteles (século IV a.C.), que citou a associação de uma espécie a solos sobre rochas calcárias (KRUCKEBERG, 1969), e a Vitruvius, que no ano 10 a.C. descreveu a presença de espécies que ocorriam apenas em terrenos pantanosos (BROOKS, 1972). RUISONG; YUELIANG (2004) mostram que esta técnica também é utilizada na China há mais de 2000 anos, sendo reconhecidas desde então plantas indicadoras de depósitos minerais.

A geobotânica é aplicável na prospecção mineral em regiões florestadas, uma vez que a presença de depósitos minerais pode implicar em intensas anomalias na composição média da crosta terrestre, por ser, na dependência do tipo de minério, onde a variação nas coberturas vegetais se mostram mais intensas (ALMEIDA et al., 2007b; PERROTTA et al., 2009).

PENATTI (2014) abordou a diversidade do Pantanal a partir de uma análise geobotânica fenológica, onde discute o Pantanal considerando sua geologia (diferentes tratos deposicionais, granulometria dominante dos sedimentos e neotectônica), seus solos, suas coberturas vegetais e sobretudo a fenologia da superfície terrestre. Estudos fenológicos são tradicionalmente realizados a partir de observações terrestres controladas que, apesar de altamente acuradas, são muito pontuais e demandam longos períodos de obtenção de dados. Com o intuito de monitorar grandes áreas de maneira rápida e econômica, foi desenvolvido o conceito da fenologia da superfície da terra ou *Land surface phenology – FSP*, que é definida como o padrão sazonal de variação de superfícies vegetadas, observadas a partir de dados de sensoriamento remoto (TAN et al., 2008). A *FSP* é uma medida da dinâmica da paisagem, refletindo a resposta da vegetação a mudanças inter e intra-anuais e do ciclo hidrológico (PENATTI, 2014; PENATTI et al., 2015), sendo ainda grandemente influenciada pela variabilidade do meio físico (MYNENI et al., 1997; WHITE; THORNTON; RUNNING, 1997; ZHANG et al., 2003; PENATTI, 2014).

A *FSP* pode ser estudada por meio de índices de vegetação calculados a partir de sensores ópticos de alta resolução temporal, como é o caso do sensor MODIS, permitindo avaliar e modelar a dinâmica sazonal e a variabilidade fenológica de paisagens em grandes áreas (CHANDOLA et al., 2010). A classificação de séries temporais com base em diferenças fenológicas entre os

diferentes tipos de cobertura do solo fornece informações importantes sobre os padrões espaço-temporais e a variabilidade das coberturas terrestres (NGUYEN et al., 2012).

No Pantanal, a FSP informa como as coberturas vegetais variam sazonalmente e, a partir disso, indicam a presença de pequenos desníveis no relevo, como ocorre com as falhas ativas com componente de rejeito vertical. Considerando a predominância de sedimentos arenosos na Bacia do Pantanal, estes movimentos tectônicos têm como efeito colateral da presença de inundações mais intensas e longas a presença de sedimentos mais finos em seus solos e maior concentração de nutrientes. Segundo a literatura, as coberturas vegetais no bloco soerguido e rebaixado serão diferentes na fenologia e provavelmente nas espécies presentes (ALMEIDA et al., 2015; PENATTI, 2014). PENATTI et al. (2012) demonstram que tanto a textura dos solos como lineamentos de origem tectônica afetam a vegetação, de forma que sua variabilidade pode ser detectada espaço-temporalmente por imagens de sensoriamento remoto.

PENATTI et al. (2015) analisaram a dinâmica espaço-temporal do Pantanal e da BAP para o período de 2001 a 2012, utilizando dados de precipitação, evapotranspiração, espessura equivalente de água (massa de água em superfície e sub-superfície) e verdor da vegetação (EVI – *Enhanced Vegetation Index*). Esses autores encontraram altas correlações entre essas variáveis, demonstrando que as variações climático-hidrológicas afetam intensamente o ecossistema. Além disso, percebem-se variações internas no comportamento da vegetação, afetando o EVI e as taxas de evapotranspiração, que estão relacionadas a pequenas variações no relevo e ainda a granulometria dos sedimentos. PENATTI et al. (2012) demonstram a relação entre a granulometria dos sedimentos e a variação na resposta fenológica da vegetação para grande parte do Pantanal, para um período de cinco anos (2006 - 2010): em áreas onde os sedimentos são arenosos e, portanto, muito porosos, há rápido e intenso rebaixamento do lençol freático, comprometendo a capacidade da vegetação em enfrentar a estação seca. Já em sedimentos em que há argila e silte em maiores proporções, a permeabilidade será mais baixa e a migração do freático não se efetuará tão rapidamente, permitindo que a vegetação

permaneça verde mesmo no período seco. Além disso, em sedimentos onde a predominam a presença de sedimentos finos, a presença de camadas argilosas, impermeáveis, podem agir como aquitardes, retendo a água por longos períodos, e aumentando a disponibilidade hídrica para os sistemas radiculares da vegetação.

ALMEIDA et al. (2015) analisaram a variabilidade espaço-temporal da cobertura vegetal no Pantanal, aplicando análise por componentes principais (APC) sobre um conjunto anual de 23 imagens EVI2 (*Enhanced Vegetation Index* 2) obtidas a partir do produto MOD13Q1/MODIS, baseadas na média de um período de 11 anos (2001-2011). Em função da grande correlação entre as imagens, verificou-se uma concentração de 98,95% da variância nas três primeiras componentes, com a distribuição das respostas de cargas (máximo, mínimo e mudanças no sinal das cargas dos autovetores) correspondendo às interrupções sazonais mais importantes. A PC1 (componente principal 1), como previsto na literatura (TOWNSHEND; GOFF; TUCKER, 1985; EASTMAN; FILK, 1993; FERREIRA; HUETE, 2004), expressa a informação mais comum à série de imagens: o verdor cumulativo. As duas componentes seguintes informam dos dois eventos sazonais que afetam de forma mais marcante as coberturas vegetais, respectivamente, a senescência generalizada durante o cerne do período de seca e a senescência precoce, de ocorrência logo após o período das chuvas, que ocorre em amplas porções de sedimentos arenosos, com pouca argila e silte, e sem influência fluvial. A partir dessa abordagem fenológica simplificada, demonstrou-se a capacidade da fenologia de informar sobre aspectos da geologia e da variabilidade ambiental pantaneira.

Na área de estudo há um contato abrupto e retilíneo entre uma área de senescência precoce a sudeste e outra com senescência tardia e sutil a noroeste, como mostrado na Figura 1.1, mostrando a importância da feição estudada neste trabalho. Dessa forma, ALMEIDA et al. (2015) demonstram, de forma simplificada, como a FSP pode informar sobre o contraste ambiental que gera o lineamento em estudo. Lineamento que agora é abordado com densa aplicação da FSP e outras técnicas.

Figura 1.1 - Detalhe da composição colorida falsa-cor (RGB: PC2, PC1, PC3) onde a senescência tardia e discreta está associada com tonalidades avermelhadas (quando vegetação densa) e amareladas (quando vegetação mais esparsa) e em tons de ciano e azul quando a senescência é precoce.

Fonte: ALMEIDA et al. (2015).

A partir de amplo conjunto de dados obtidos por sensoriamento remoto tais como a FSP, a pluviosidade e o relevo, complementados por dados de campo da variabilidade florística na zona do lineamento, esta dissertação procura mostrar a intensa variação da cobertura vegetal associada a um lineamento de vegetação. Tal lineamento, tanto por suas dimensões como pelo contexto geológico, permite considerar tratar-se de falha com componente vertical de rejeito e mostrar a importância da neotectônica na origem da diversidade ambiental pantaneira. E, por fim, mostra o potencial da geobotânica por sensoriamento remoto e de campo na identificação e descrição de lineamentos em regiões úmidas.

1.3 Hipótese

O lineamento, foco desta pesquisa, é visível a partir de imagens ópticas orbitais de diversos sensores, e em diversas escalas, durante o período de seca. Já no período de chuvas, torna-se pouco visível em imagens no espectro refletido, evidenciando a possível existência de um comportamento sazonal da vegetação. A hipótese central deste trabalho é de que este lineamento seja a expressão superficial de uma falha, com possível componente vertical de relevo, que, a partir do controle da sazonalidade das inundações cause diferenças fenológicas e florísticas nas coberturas vegetais. A hipótese considera mostrar a neotectônica como tendo importante função na variabilidade ambiental do Pantanal. A hipótese correlata é a que essa falha seja correlacionada ao Lineamento Transbrasiliano (LTB), tratando-se assim de uma resposta ambiental à reativação neotectônica de uma estrutura de dimensões continentais e ativa desde o Neoproterozoico.

1.4 Objetivos e justificativas

O objetivo desta dissertação é mostrar que o contraste de vegetação em uma determinada região do Pantanal é resposta da neotectônica presente no Pantanal. Esta, por sua vez, altera o regime de inundação e, conseqüentemente, o comportamento sazonal da vegetação e também as espécies dominantes nas coberturas vegetais. Através da FSP e discutir a importância da neotectônica na diversidade ambiental do Pantanal a partir de uma análise geobotânica fenológica com apoio de dados florísticos.

Compreender a variabilidade ambiental pantaneira é de extrema importância devido às suas características únicas em uma área úmida. A aplicação da FSP no Pantanal permite caracterizar a diversidade do comportamento espaço-temporal da vegetação na área de estudo, evidenciando o caráter linear de brusco contato fenológico/florístico. Seu comportamento ao longo do tempo permite realçar as diferenças entre as coberturas vegetais existentes além de mostrar a importância dessa feição para a área. Demonstrar a provável relação da tectônica com essa diversidade ambiental é importante para a compreensão do ecossistema e, por consequência, na elaboração de planos de gerenciamento ambiental.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Índices de vegetação

Índices de vegetação são transformações espectrais de duas ou mais bandas, realizadas com o intuito de realçar a resposta da vegetação fotossinteticamente ativa e variações estruturais do dossel. Estes índices, em imagens multitemporais, permitem monitorar as variações sazonais, interanuais e de mais longo prazo da vegetação no que se refere a parâmetros estruturais, fenológicos e biofísicos (HUETE et al., 2002).

O NDVI, índice utilizado nesta pesquisa, foi proposto por ROUSE Jr (1972) como uma diferença normalizada entre as bandas do infravermelho próximo (841 – 876 nm) e vermelho (620 – 670 nm), sendo assim sua expressão mostrada na equação 1:

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \quad (1)$$

Na região de 660 nm (*red*) há intensa absorção por clorofilas a e b enquanto na de 850 nm (NIR) ocorre transparência de pigmentos foliares e intensa reflexão especular e difusa pela estrutura foliar, somando-se ainda baixa absorção por água foliar. Este comportamento espectral é muito usado para monitoramento da vegetação a partir de perfis temporais, permitindo analisar o comportamento sazonal da vegetação. Pode-se, assim, detectar métricas da atividade fenológica da vegetação tais como a duração do período de crescimento, o pico de verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2015).

Este índice é o mais conhecido e utilizado entre os índices de vegetação, entretanto, apresenta algumas limitações como problemas de fundo de dossel (causado por sombra), contaminação atmosférica, saturação em dosséis mais densos, mais pronunciada nos produtos MODIS graças à banda vermelha ser mais estreita (HUETE et al., 2002). Apesar dos problemas que afetam este índice, optou-se por seu uso pela maior sensibilidade à variação da clorofila, enquanto o EVI é mais sensível à estrutura do dossel e efeitos de iluminação BRDF (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*) (HUETE et al., 2002). Como o objetivo desta pesquisa volta-se para a variabilidade da fenologia da

superfície terrestre na área de estudo, considerou-se o uso do índice clássico, já que estes pigmentos, além de serem os mais presentes nas folhas, são também os que mais facilmente degradam, informando melhor da variação do vigor da vegetação frente às variações sazonais. Há ainda um aspecto específico de estudos em áreas úmidas que foi considerado: em áreas parcialmente inundadas a radiação na área espectral do vermelho irá ter uma resposta muito ampliada e a no infravermelho próximo, muito reduzida. Considerando haver informação de água livre ao nível de sub-píxel, um maior peso à banda no visível reduzirá ainda mais a resposta de vegetação.

2.2 Séries temporais de NDVI

Fenologia pode ser definida como o estudo sazonal entre eventos biológicos periódicos (RATHCKE; LACEY, 1985). A fenologia varia de espécie para espécie vegetal e é influenciada por fatores como a temperatura do solo, temperatura do ar, iluminação solar, disponibilidade hídrica, comprimento do dia, os quais variam de acordo com sua localização e período de tempo (DE BEURS; HENEBRY, 2004). A Fenologia da Superfície Terrestre (ou *Land surface phenology* – com a sigla em português FSP) é definida como o padrão sazonal de variação em superfícies vegetadas observadas a partir de imagens multitemporais de sensoriamento remoto. Sua dinâmica reflete o comportamento da superfície vegetada em cada estação, bem como mudanças anuais. Distingue-se da fenologia de campo, pois não separa comportamento por espécie, possuindo um caráter regional/global e permitindo assim sua comparação com dados climáticos. Por isso, a FSP serve como um indicador biológico chave para a detecção de variações na vegetação.

A análise fenológica é realizada através de séries multitemporais de índices de vegetação (perfis temporais) empregadas no monitoramento da cobertura vegetal. Tais dados estão relacionados à evolução temporal da vegetação fotossinteticamente ativa e ao ciclo fenológico do conjunto de espécies vegetais presentes. O conhecimento da dinâmica temporal da vegetação revela padrões, processos e mecanismos, os quais podem ser usados para realizar previsões e orientar estratégias de proteção e conservação dos recursos florestais (DALLA NORA; SANTOS, 2010). Os perfis temporais de NDVI foram construídos visando demonstrar, ressaltar e tentativamente explicar

os diferentes comportamentos fenológicos relacionados ao lineamento estudado.

As séries anuais médias são ideais para mostrar que as tendências fenológicas indicadas não sofrem com as especificidades climáticas particulares a um ano isolado. Essas séries na presente dissertação foram construídas a partir da média das imagens de cada DOY durante os 15 anos estudados. Seu resultado é um ano médio, composto por imagens médias, que representam o comportamento geral da estação de crescimento. Já as séries completas permitem analisar tanto a variabilidade interanual como o comportamento fenológico em anos anômalos, além de permitir sua comparação com a série de dados climáticos.

Embora os problemas atmosféricos das imagens do sensor MODIS sejam minimizados no produto MOD13Q1, ainda restam ruídos que afetam a qualidade dos dados, como, por exemplo, variações angulares, nuvens residuais e perturbação atmosférica (EKLUNDH; JÖNSSON; KUUSK, 2007). Visando minimizar estes efeitos, e preencher as lacunas deixadas por esses ruídos, a série temporal de NDVI foi filtrada utilizando o algoritmo Savitsky-Golay no *software* TIMESAT (JÖNSSON; EKLUNDH, 2002, 2004; CHEN et al., 2004). Trata-se do ajuste de uma função polinomial de baixo grau a partir do ajuste de funções polinomiais locais para cada conjunto de pontos da série temporal, proporcionando melhor representação dos máximos, mínimos e corrigindo ruídos. A banda *pixel reliability* foi usada como fator ponderador dos pixels da série de NDVI, onde o valor zero desta banda (dados de boa qualidade) recebeu peso total (1,0), os valores 1 e 2 (dados marginais) receberam metade do peso e o valor 3 (ruídos) recebeu peso mínimo (0,1). A partir disso foi possível suavizar a série, bem como preencher os eventuais vazios residuais presentes.

O modo mais comum na análise espaço-temporal de imagens é a elaboração de perfis temporais, que mostram a evolução do dado estudado no tempo, dentro de um intervalo pré-determinado. Neste trabalho perfis temporais foram construídos visando mostrar e comparar o comportamento fenológico da vegetação dos dois lados do lineamento em estudo visando mostrar e salientar seu comportamento na área.

2.3 Métricas fenológicas

Métricas fenológicas são parâmetros que descrevem a estação de crescimento da vegetação e podem ser utilizadas para estimar as diversas fases do ciclo anual de desenvolvimento da vegetação e sua intensidade. Esses parâmetros são essenciais para descrever a fenologia da vegetação e são construídos com base nas séries temporais de índices de vegetação suavizadas e com os seus vazios preenchidos. A partir da análise das curvas do perfil temporal são extraídos: o início da estação, a senescência, o tempo de pico da estação, o comprimento da estação, o dado mínimo do período, entre outras informações (REED et al., 1994; ZHANG et al., 2003, 2004).

Da série filtrada a partir da rotina TIMESAT, foram obtidas 10 métricas fenológicas: (1) início, e (2) fim da estação, (3) tempo de duração da estação, ou comprimento da estação, (4) amplitude sazonal, diferença entre o valor máximo e mínimo, (5) valores mínimos de NDVI, (6) valores máximos de NDVI, (7) taxa de rebrota, (8) taxa de senescência, (9) produtividade sazonal, e (10) produtividade total (Figura 2.1).

Figura 2.1 - Parâmetros fenológicos identificados na curva de índice de vegetação. (a) início da estação, (b) fim da estação, (c) duração da estação, (d) nível de base, (e) tempo do meio da estação, (f) valor máximo da função ajustada, (g) amplitude sazonal, (h+i) grande integral do início ao final da estação e a (h) pequena integral em relação ao nível de base. A linha em vermelho é o resultado do filtro Savitsky-Golay sobre o perfil original (linha em azul)(modificado de JÖNSSON; EKLUNDH, 2004).

Fonte: modificado de JÖNSSON; EKLUNDH (2004).

3 ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho tem como enfoque o lineamento de vegetação delimitado aproximadamente entre 17° 38'S/56° 56'W e 17° 00S/55° 47'W, com direção N59E, como mostrado na Figura 3.1. Esta feição é dada por um contato retilíneo com em torno de 100 km entre coberturas vegetais contrastantes, como mapeado em WWF-BRASIL (2009), que separa vegetação dominada por savana a SE e vegetação com influência fluvial a NW e POTT; SILVA (2015) que delimitam savanas (Cerrado) a SE e florestas de espécies pioneiras a NW. EVANS et al. (2014) mostram esta mudança brusca entre a vegetação de savana adaptada a inundações menos intensas e mais curtas a SE e, a NW, vegetação mais adaptada a inundações com duração e intensidade médias a grandes, com presença frequente de monodominância de espécies, como o Pombeiral (*Combretum lanceolatum*) e o Cambarazal (*Vochysia divergens*).

Figura 3.1 - A esquerda a localização do Pantanal em relação ao Brasil. Abaixo a localização do Pantanal (limites em azul) e a área estudada em uma imagem do produto MOD13Q1 do DOY 241 (29 de agosto, seca) do ano 2000 em RGB: NIR, MIR e Red.

O lineamento estudado pertence a um sistema de lineamentos de direção aproximada N60E que corta o Pantanal e é muito visível em imagens óticas orbitais, como citado por diversos autores. SOARES; ASSINE; RABELO (1998) interpretaram estes lineamentos em imagens Landsat como falhas associadas ao Lineamento Transbrasiliiano que condicionaram lobos deposicionais e drenagens, inclusive capturando o rio Paraguai nas proximidades da cidade de Corumbá. Esses autores discutem a origem desse lineamento como oriundo da mudança do nível de base do atual lobo deposicional do Taquari de aproximadamente 3 m, indicando um possível soerguimento da área SE do leque. Posteriormente ASSINE et al. (2015b) mostram a presença desse sistema de falhas onde o bloco a NW é abatido. ASSINE et al. (2015a) mostram o lineamento estudado como o contato entre sedimentos do megaleque do Taquari com sedimentos trazidos pelos rios Cuiabá, São Lourenço e Paraguai, em ambiente que denomina de planície fluvial interleques do Itiquira. Esses autores indicam que a SE do lineamento o fluxo dominante de água é feito por escoamento pluvial, enquanto a NW o fluxo é fluvial, com aporte de sedimentos trazidos pelo rio Itiquira e afluentes. PARANHOS FILHO et al. (2013) afirmam ser a direção NE a mais presente no Pantanal, mas não a destacam como

importante na variabilidade geomorfológica ou ambiental da área, exceto por, junto com as direções NW e EW, condicionarem os principais rios que drenam atualmente a planície pantaneira. CURTO (2015), discutindo a tectônica dos terrenos a NE da área de estudo, confere à direção NE grande importância, relacionando os lineamentos General Carneiro, Baliza e Serra Negra com zonas de fraqueza crustal com importante histórico rúptil desde o Neoproterozoico, separando blocos tectônicos de características muito distintas. Descreve a autora a identificação em campo de falhas normais que ocorreram durante a reativação mesozoica.

Há diversos trabalhos sobre a vegetação do Pantanal. Como conceito geral em termos de fisionomias pantaneiras, o cerradão ocupa áreas mais elevadas e o cerrado *sensu stricto* as áreas mais baixas (SILVA et al., 2000). Trabalhos que cartografam as coberturas vegetais/habitats do Pantanal, como os de WWF-BRASIL (2009), EVANS et al. (2014) e POTT; SILVA (2015) mostram, entretanto, uma situação diferente na área de estudo. Estes trabalhos, embora com abordagens e nomenclaturas diferentes, mostram igualmente um longo limite linear coincidente com o lineamento de vegetação. Embora não cite este termo, todos reconhecem a presença de um limite florístico ou ambiental na área de estudo em coincidência com o lineamento estudado, configurando um lineamento de vegetação. Em WWF- BRASIL (2009) a NW daquele lineamento de vegetação ocorrem Formações Florestais e, a SE, predominam Savanas arborizadas e Savanas de gramíneas (Figura 3.2).

Figura 3.2 - Mapa de vegetação modificado de WWF-BRASIL (2009) a esquerda e a direita em detalhe a área estudada.

Fonte: WWF-BRASIL, 2009.

Nos trabalhos de EVANS et al. (2014) e POTT; SILVA (2015) há indicação de área topograficamente mais baixa a NW. No primeiro trabalho, os autores indicam a NW a presença de savana arbórea sujeita a intensa e/ou prolongada inundação, com frequente monodominância de espécies e, a SE, arbustos e árvores dispersas em estrato de gramíneas com possibilidade de inundação periódica sobretudo em canais de drenagem (Figura 3.3). Logo, de forma indireta, esses autores suportam a presença de falha que soergueu o bloco a SE em relação ao NW. Segundo POTT; SILVA (2015), a NW ocorre Floresta de espécies pioneiras, incluindo cambará (*Vochysia divergens*), uma espécie de origem amazônica que tolera bem inundações (SILVA et al., 2000), enquanto a SE ocorrem savanas (Cerrado), incluindo florestas, savanas de gramíneas e savanas com monodominância em porções inundáveis que abrangem a área estudada e traçam o contraste observado na Figura 3.4.

Figura 3.3 - Mapa de vegetação modificado de EVANS et al. (2014) à esquerda e à direita um zoom na área de estudos. Na legenda AGR mostra áreas de agricultura, ELEV áreas de morrarias, FOR áreas de florestas e bosques, SGR campos pantanosos, OGS savana gramínea aberta, OWS savana florestada aberta, OWS_F savana florestada exposta a longos períodos de inundação, SMS savana pantanosa mista, RIP florestas marginais, VAZ vazantes e WAT água.

Fonte: EVANS et al., 2014.

Figura 3.4 - Mapa de vegetação modificado de POTT; SILVA (2015).

Fonte: POTT; SILVA, 2015.

Em uma escala continental o lineamento em estudo demarca o limite sul das manchas de florestas sempre-verdes da América do Sul (XIAO et al., 2006), cujo contraste se dá entre uma área não muito afetada pelas longas secas anuais, como explicitado nos trabalhos acima citados, por se tratar uma área abatida e, por consequência, ser menos suscetível a secas devido a diversos cursos d'água perenes que mantêm a umidade contínua, favorecendo seu caráter de sempre-verde (Figura 3.5). Observe-se que a mancha verde a sul da área de estudo refere-se ao lobo deposicional atual do rio Taquari, área com prolongados períodos de inundação e alta disponibilidade hídrica.

Figura 3.5 - Distribuição espacial das áreas de vegetação tropical sempre-verde na América do Sul derivado do índice LSWI (*Land Surface Water Index*) (modificado de XIAO et al., 2006).

Fonte: XIAO et al., 2006.

CURTO et al. (2014) mostram as principais descontinuidades magnéticas na área a NE da área de estudo, respectivamente, Serra Negra, de direção N30E e referente à falha principal do Lineamento Transbrasiliano, e as estruturas subsidiárias Baliza (N58E) e General Carneiro (N68E). Esta última passa imediatamente a norte da cidade de Rondonópolis (MS), prossegue em direção NE até a área de Nova Xavantina (MT), próximo à divisa entre os estados de Mato Grosso e Goiás (15°S/52°W). De Rondonópolis, que está às margens do Pantanal, o lineamento General Carneiro tem em sua continuidade para SW um vale alinhado com direção geral N60E por cerca de 50 km (leito de inundação do rio Vermelho) e, posteriormente, o lineamento estudado. CURTO et al. (2014) consideram as estruturas de direção N60-70E, que geraram *horsts* e *grabens*

durante e após a sedimentação da Bacia do Paraná, como falhas subsidiárias ao LTB, o que encontra apoio em CHAMANI (2011), que considerou a possibilidade dos lineamentos magnéticos citados se associarem ao LTB como estrutura em *splay*.

ASSINE et al. (2015b) consideram que a subsidência dos blocos limitados por estruturas NE-SW e NNW-SSE criem espaço de acomodação para sedimentos e causem regiões mais propícias a alagamentos. Desta forma, na área o bloco a NW estaria recebendo sedimentos das áreas fontes vindas dos rios Cuiabá, São Lourenço e Paraguai. Esta área está em subsidência há bastante tempo dada a profundidade dos sedimentos, como indicado por furos de sondagem que, com mais de 340 m, não atingiram seu embasamento (ASSINE et al., 2015b).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

4.1.1 Imagens MODIS e o produto MOD13Q1

As imagens MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) são de uso fundamental no estudo de regiões extensas, de difícil acesso e dinâmicas como o Pantanal, por sua ampla abrangência e alta frequência temporal. Devido à grande extensão do lineamento estudado, essas imagens são ideais, pois permitem a construção de séries temporais e avaliar a evolução sazonal de diversos parâmetros biofísicos da vegetação (JUSTICE; TOWNSHEND; VERMOTE, 2002). Estas imagens, raramente utilizadas em trabalhos geológicos, foram a principal fonte de dados de sensoriamento remoto nesta pesquisa.

O sensor MODIS é portado pelos satélites Terra e Aqua, os quais possuem órbita sol-síncrona e altitude nominal de 705 km. Possui 36 bandas espectrais no intervalo de 405 a 14.385 nm, com obtenção diária. O programa MODIS disponibiliza diversos produtos gerados a partir dessa informação espectral e nesta pesquisa será utilizado o produto MOD13Q1. Este produto contém os índices de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*), produzidos em imagens compostas de 16 dias, com resolução de 250 m (23 imagens compostas por ano), o que permite

realizar estudos, tanto ao longo do tempo quanto no espaço, sobre condições da cobertura vegetal em escalas global e regional (LATORRE; SHIMABUKURO; ANDERSON, 2007). Estas imagens são compostas dos melhores píxels das imagens de uma dada área, obtidas no intervalo de 16 dias, permitindo assim obter imagens com boa qualidade mesmo em regiões sujeitas a intensa nebulosidade, como ocorre no Pantanal no período das chuvas. Sua data de referência é o DOY (*day of the year* - dia do ano) central do período. Os DOYs são fixos, do 001 (1º de janeiro) ao 353 (21 de dezembro). Além dos índices, estão disponíveis no produto MOD13Q1 as bandas no infravermelho próximo (NIR), no vermelho (*Red*), no infravermelho médio (MIR) e no azul (*Blue*), sendo ainda disponibilizada a imagem de qualidade de píxel (*píxel reliability*), que fornece informação da qualidade de cada píxel quanto à presença de nuvens e outras influências atmosféricas que não puderam ser removidas nas imagens compostas.

Neste trabalho foram utilizadas séries temporais do NDVI do produto MOD13Q1 para os *tiles* H12V10 e H12V11, para o período de novembro de 2000 a fevereiro de 2016. Esses dados estão disponíveis gratuitamente através do endereço <http://mrtweb.cr.usgs.gov/>.

4.1.2 Imagens Landsat

Neste trabalho foram também utilizadas imagens obtidas pelos sensores a bordo dos satélites da série Landsat, disponibilizadas da década de 1970 até nossos dias. O objetivo geral é utilizar este levantamento histórico para discutir a persistência da vegetação na área de estudo. Considerando ser a cobertura vegetal um elemento em princípio fugaz, pretende-se observar como foi o comportamento da vegetação no entorno do lineamento em estudo e nas manchas de vegetação densa a SE do lineamento nas últimas décadas.

As imagens utilizadas foram dos seguintes sensores: MSS (*Multispectral Scanner*), TM (*Thematic Mapper*), ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) e OLI (*Operacional Land Imager*). As imagens selecionadas têm órbita 224, ponto 030 em WRS-1 para as imagens MSS e órbita 226 e ponto 72 em WRS-2 para os demais sensores. As imagens foram obtidas através da plataforma EarthExplorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos

(<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Esta série temporal de imagens foi utilizada em dois procedimentos. Inicialmente foi analisada a persistência do lineamento de vegetação desde a década de 1970, para descartar a possibilidade de origem antrópica. Mais à frente estas imagens auxiliaram a escolha dos locais para estudo da fitossociologia em coberturas florestais com mais de 30 anos, o que foi indicado pela presença de vegetação densa desde 1986, procurando evitar a análise de parcelas em menor estágio de florestamento, alterando a proporção de espécies pioneiras, secundárias e climácicas.

Tabela 4.1 – Tabela de atributos das imagens dos sensores a bordo dos satélites Landsat (apenas das bandas utilizadas nesta pesquisa).

Satélite e sensor	Bandas	Comprimento de onda (µm)	Resolução (m)
Landsat 1-5 Multispectral Scanner (MSS)	Banda 1 ou Banda 4 (para os satélites Landsat 1-3) - <i>Green</i>	0.5-0.6	60
	Banda 2 ou Banda 5 (para os satélites Landsat 1-3)- <i>Red</i>	0.6-0.7	60
	Banda 4 ou Banda 6 (para os satélites Landsat 1-3)- <i>Near Infrared (NIR)</i>	0.8-1.1	60
Landsat 4-5 Thematic Mapper (TM)	Banda 1 - <i>Blue</i>	0.45-0.52	30
	Banda 2 - <i>Green</i>	0.52-0.60	30
	Banda 4 - <i>Near Infrared (NIR)</i>	0.76-0.90	30
Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)	Banda 1 - <i>Blue</i>	0.45-0.52	30
	Banda 2 - <i>Green</i>	0.52-0.60	30
	Banda 4 - <i>Near Infrared (NIR)</i>	0.77-0.90	30
Landsat 8 Operational Land Imager (OLI)	Banda 2 - <i>Blue</i>	0.45 - 0.51	30
	Banda 3 - <i>Green</i>	0.53 - 0.59	30
	Banda 5 - <i>Near Infrared (NIR)</i>	0.85 - 0.88	30

Fonte: Modificado de <https://landsat.usgs.gov/>

4.1.3 Imagens RapidEye

Durante a elaboração do planejamento do trabalho de campo realizado pela equipe do projeto que engloba este mestrado foram utilizadas imagens

orbitais de alta resolução dos satélites RapidEye. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) adquiriu imagens RapidEye de todo o território nacional para o período entre 2011 e 2014. Essas imagens podem ser obtidas através do site <http://geocatalogo.mma.gov.br/>. Os sensores REIS (*RapidEye Earth Imaging System*) possuem cinco bandas (Tabela 2.2) que permitem observar com detalhe as regiões vegetadas ideais para a coleta de campo.

Tabela 4.2 - Tabela de atributos das imagens dos sensores a bordo da constelação de satélites RapidEye

Satélite e sensor	Bandas	Comprimento de onda (µm)	Resolução (m)
REIS (<i>RapidEye Earth Imaging System</i>)	Banda 1 - Azul	0.44 - 0.510	5 m
	Banda 2 – Verde	0.52 - 0.59	5 m
	Banda 3 – Vermelho	0.63 - 0.69	5 m
	Banda 4 – Red-Edge	0.69 - 0.73	5 m
	Banda 5 - Near Infrared (NIR)	0.76 - 0.88	5 m

Fonte: Modificado de <http://geocatalogo.mma.gov.br/>

4.1.4 Imagens Pleiades

Durante o planejamento do trabalho de campo, foi utilizada uma imagem Pleiades do dia 31 de março de 2016, fornecida pela *Airbus Defense and Space*. A área da imagem fornecida possui área de 25 km² com alta resolução espacial (0,5 m por píxel). Essas imagens permitem ver em detalhe as áreas estudadas em campo, servindo como auxílio na localização durante o trabalho de campo, bem como para seu planejamento.

4.1.5 Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

4.1.5.1 SRTM 1 arco-segundo

A missão SRTM, a bordo do ônibus espacial Endeavour, aconteceu entre 11 e 22 de fevereiro do ano 2000 e produziu imagens de radar da Terra, que foram utilizadas para criar o primeiro modelo digital de elevação (MDE) de escala global com alta resolução espacial. O modelo gerado a partir desses dados possui resolução espacial de 1 arco-segundo (aproximadamente 30 m), resolução espacial que está disponível para a América do Sul desde 2014. Para estimar a elevação, o SRTM utilizou da interferometria de radar, que consiste na

detecção de um mesmo ponto em dois pontos de vistas ligeiramente diferentes. Durante essa missão, foram obtidos dois modelos: um construído a partir da banda C e outro construído a partir da banda X (ambos com resolução espacial de 1 arco-segundo).

4.1.5.2 SRTM com correção na vegetação

Foi adquirido também o MDE processado por O'LOUGHLIN et al. (2016). Esses autores, utilizaram o modelo digital de elevação global construído a partir do SRTM com resolução espacial de 3 arco-segundo (90 m), disponibilizado pela NASA e que se propõe a corrigir os ruídos causados pela vegetação com o auxílio dos dados de porcentagem de árvores obtidos pelos satélites MODIS e os pontos de altimetria medidos pelo satélite ICESat.

4.1.6 *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM)

A missão TRMM, fruto do trabalho conjunto entre a NASA e o *Japan Aerospace Exploration*, programa espacial japonês, iniciou sua operação em novembro de 1997 e forneceu pela primeira vez importantes informações sobre estimativa de precipitação, abrangendo o planeta na faixa entre 40°N a 40°S. Composto de instrumentos ativos e passivos de micro-ondas, permite que seus dados forneçam importantes informações sobre precipitação, tempestades e processos climáticos nos trópicos. Seus instrumentos principais são o *Precipitation Radar* (PR) e o *TRMM Microwave Imager* (TMI), que juntos fornecem o total de água meteórica e também o *Visible Infrared Scanner*, responsável por mostrar a forma da nuvem e suas estruturas de precipitação. Adicionalmente, o *Lightning Imaging Sensor* (LIS) complementa os sensores de chuva e permite entender a dinâmica do clima de forma global. Neste trabalho foram utilizados dados de precipitação oriundo dessa missão. Apesar dos vários produtos fornecidos, foi utilizada apenas a precipitação mensal.

Os dados de precipitação utilizados foram os do produto TRMM 3B43, descrito por HUFFMAN; BOLVIN; NELKIN (2007), que combina os dados de precipitação a cada três horas, produzindo um produto com resolução temporal mensal. Sua resolução espacial é de 0,25° (27,5 km no local). A partir destes dados foi construída uma série temporal de estimativa da pluviosidade mensal entre 2001 e 2015.

4.1.7 Dados de aerogeofísica

Por se tratar de uma bacia quaternária, sem interesse mineral, no Pantanal não há levantamentos aerogeofísicos de acordo com a praxe utilizada pela CPRM. Lineamentos magnéticos presentes em sua borda leste, onde existem esses levantamentos, podem indicar continuidade de estruturas que cortam o Pantanal e desta forma dar mais robustez à hipótese de origem tectônica do lineamento de vegetação aqui estudado, bem como traçar sua relação com a tectônica continental.

O projeto Rondonópolis de código 2025, de propriedade da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), cobre área entre as latitudes 20°00'S e 15°00'S e as longitudes 55°30'W e 53°45'W. Seu levantamento foi realizado por duas aeronaves voando a 500 m, sendo que uma voou a sul da latitude 17°45' e a outra a norte. O espaçamento entre perfis de medida é de 1 km e o intervalo de amostragem é de aproximadamente 60 m. O magnetômetro utilizado para a aquisição desses dados é o Geometrics G-803.

4.1.8 Softwares utilizados

Durante o desenvolvimento desta pesquisa foram utilizados os softwares Exelis Envi 5.2, ESRI ArcGIS 10.2.2. Além disso, o *software* TIMESAT versão 3.2 (CHEN et al., 2004; EKLUNDH; JÖNSSON, 2015) foi utilizado na filtragem das séries temporais e geração de métricas fenológicas. O *software* Geosoft Oasis Montaj 8.1 foi utilizado no processamento dos dados de aerogeofísica. Todos os softwares utilizados pertencem ao Laboratório de Informática Geológica do Instituto de Geociências- USP.

4.2 Métodos

4.2.1 Histórico da vegetação na área de estudo

Para analisar a viabilidade do projeto e observar a eventual influência da ocupação antrópica na área estudada, além de sua persistência espaço-temporal, foi montado um banco de dados contendo imagens obtidas pelos sensores a bordo da série dos satélites *Landsat*, devido à sua longa abrangência temporal. Foi realizada uma extensa pesquisa sobre imagens da área de estudo

que não estivessem encobertas por nuvens e que mostrassem um mesmo período do ano, para que pudessem ser comparadas.

Foram escolhidas imagens da estação de seca dos anos de 1975 e 1982 (sensor *Multispectral Scanner*), 1985, 1986, 1992, 1996 e 2006 (sensor *Thematic Mapper*), 2002 (sensor *Enhanced Thematic Mapper*) e 2013 e 2015 (sensor *Operational Land Imager*). A estação seca foi selecionada, pois é quando o lineamento estudado fica mais visível e também por tratar-se da época de melhor qualidade das imagens devido à maior transparência atmosférica.

Foram elaboradas composições coloridas em falsa cor com o infravermelho próximo no canal vermelho, vermelho no canal verde e verde no canal azul (bandas 754 do sensor *Multispectral Scanner*, bandas 432 dos sensores *Thematic mapper* e *Enhanced Thematic Mapper* e bandas 543 do sensor *Operational Land Imager*). Essa composição colorida foi escolhida tanto por serem os comprimentos de onda disponíveis em todos os sistemas sensores da série, como pelo comportamento espectral da vegetação fotossinteticamente ativa, refletindo mais o infravermelho do que nos comprimentos de onda do visível. Logo, a cobertura vegetal aparece em tons de vermelho, facilitando sua visualização. Quanto mais frondosa e densa for a cobertura vegetal, mais fortes serão os tons de vermelho.

Além de validar a origem natural do lineamento de vegetação estudado, condição *sine qua non* para a hipótese desta pesquisa, esse banco de dados também foi essencial na localização de locais com florestas em avançado estágio de florestamento, aspecto imprescindível para que pudesse ser realizado o trabalho de campo.

4.2.2 Processamento dos dados de aerogeofísica

Os dados de aerogeofísica do projeto Rondonópolis (Projeto 2025), apesar do pré-processamento realizado pela CPRM, possuem alguns defeitos que precisam ser corrigidos para serem utilizados. CURTO (2015) sugere uma sequência de pré-processamentos para a utilização desses dados: a correção de posicionamento e padronização dos sistemas de projeção, interpolação dos dados e micronivelamento e decorrugação dos dados. Esses procedimentos, usados naquele trabalho, foram aqui replicados.

4.2.2.1 Correção de posicionamento e padronização dos sistemas de projeção

O projeto Rondonópolis foi realizado entre os anos de 1976 e 1977, o que causava algumas limitações tecnológicas nos sistemas de posicionamento. Para a utilização dos dados e para tornar possível sua comparação com os dados de NDVI e de sensoriamento remoto, esses dados tiveram que ser reprojetados. A princípio os dados estavam em UTM e utilizavam o elipsoide Hayford 1910. Esses dados foram reprojetados para coordenadas geográficas usando o *datum* WGS-84.

4.2.2.2 Interpolação dos dados

A interpolação dos dados magnéticos depende da distribuição do espaçamento da amostragem (NAIDU; MATHEW, 1998), neste caso dado pelo espaçamento das linhas de voo. O limite utilizado como parâmetro de corte para separar ruídos dos dados reais foi de $\frac{1}{4}$ deste espaçamento, ou seja 0,4 km (LUYENDYK, 1997; REEVES, 2005; CURTO, 2015).

Neste caso o tipo de interpolação utilizado foi a mínima curvatura (BRIGGS, 1974). O método de mínima curvatura minimiza os problemas que podem ser gerados pelo ajuste polinomial, pois limita a interpolação próxima aos seus valores originais. Esse método promove uma superfície suave, entretanto, mudanças abruptas do gradiente (primeira derivada) podem ocorrer na proximidade dos dados. Este método foi escolhido devido ao fato do projeto Rondonópolis 2025 possuir dois levantamentos (norte e sul) realizados em épocas diferentes que não se sobrepõem.

4.2.2.3 Micronivelamento e decorrugação dos dados

Visando corrigir ruídos que podem estar presentes nos dados oriundos de imprecisões e erros instrumentais, bem como erros durante o levantamento e falhas no pré-processamento, a técnica de micronivelamento foi aplicada. A decorrugação é um tipo de micronivelamento que consiste em filtrar um *grid* para reduzir ou remover efeitos não geológicos causados por ruídos de alto comprimento de onda nas linhas de voo.

O procedimento realizado consistiu em:

1. Aplicar o filtro de decorrugação Butterworth (passa baixas) para produzir um *grid* que contivesse os ruídos a serem extraídos.

2. Verificar os erros presentes no nivelamento dos dados e aplicar um filtro linear para separar as altas frequências oriundas de sinal geológico.

3. Aplicar a correção de nivelamento (micronivelamento) e por fim criar um *grid* micronivelado pronto para a utilização.

4.2.3 Comparação entre as áreas NW e SE

As comparações entre as duas áreas são essenciais para mostrar e explicar o lineamento que podemos ver pelas imagens de satélite. Neste trabalho essa comparação foi realizada de duas formas diferentes: os perfis de varredura e por comparação entre áreas amplas e contínuas.

4.2.3.1 Perfil de varredura (*Swath profile*)

Análises geomorfológicas frequentemente requerem a reconstrução de superfícies remanescentes a partir de feições preservadas tais como alinhamentos de cumes, grandes terraços, declives e vales encaixados. Essas estruturas são frequentemente mostradas em perfis e seções cruzadas, porém muitas vezes se torna difícil mostrar todas essas estruturas em apenas um perfil ou mesmo em um conjunto de perfis. Além disso, em estudos tectônicos, é frequentemente preciso retratar e medir os máximos, mínimos e a média das diferentes estruturas. Para solucionar esse problema, existem os perfis de varredura, que eliminam a falta de representatividade de um perfil único ou de uma pequena série de perfis.

Os perfis de varredura são uma versão aprimorada das tradicionais análises de seções cruzadas. Tratam-se de perfis regionais, ou seja, um perfil que mostra o comportamento geral de toda uma área. São construídos através do cálculo estatístico dos dados de uma área retangular, como exemplificado pela Figura 4.1. Esses perfis evitam a arbitrariedade que pode haver em apenas uma seção, bem como torna mais representativo o comportamento geral da área.

Figura 4.1 - Figura mostrando passo a passo como são obtidos os perfis de varredura. Calculam-se as estatísticas para cada fileira, em seguida armazenam-se os dados em um *shapefile* de pontos no centro da área a ser calculada e então plotam-se os dados em um gráfico Dado x distância.

Essa ideia foi proposta por BAULIG (1926) com o objetivo de analisar estatisticamente as discontinuidades topográficas e deste modo descrever a origem dessas estruturas, a princípio através de cartas topográficas. Posteriormente, com o advento dos modelos digitais de elevação, essa técnica vem sendo muito utilizada. De acordo com TELBISZ et al. (2013), os perfis de varredura são uma versão melhorada dos perfis transversais tradicionais, evitando a arbitrariedade de perfis lineares simples. Ainda segundo aqueles autores, o método expande horizontalmente a linha de seção transversal em uma área retangular, permitindo o cálculo de parâmetros estatísticos (mínimo, média, máximo, etc.).

Neste trabalho, esta técnica foi aplicada para as métricas fenológicas para melhor explicar o comportamento que podemos observar nas imagens. A partir desses perfis observa-se como os dados estão dispersos na área estudada. Seus valores máximos e mínimos em princípio mostram quão baixos ou altos são os valores de determinado dado nas regiões de exceção presentes nesses perfis e seu intervalo interquartil permite verificar quão bem o perfil médio mostra o que acontece na área.

4.2.3.2 Comparação por áreas amplas e contíguas

Visando demonstrar as diferenças entre os dois lados do lineamento estudado e ressaltar as variações da fenologia da vegetação e das relações verdor/pluviosidade, foram definidas duas áreas contíguas, com cerca de 800 km² cada, uma a NW do lineamento e outra a SE. Os limites buscaram abranger grande parte da diversidade ambiental dessas regiões e também excluir áreas de intensa ocupação antrópica (Figura 4.2). Foram obtidos dois produtos, o perfil temporal médio dos 15 anos e o perfil temporal completo, mostrando como as duas áreas se comportaram no tempo.

A análise da estação de crescimento média é importante pois demonstra através dos diversos parâmetros o quão diferente é cada área. A comparação da série do comportamento da vegetação de 15 anos com os dados de precipitação permite demonstrar como cada área responde aos períodos de chuva e seca, incluindo anos de clima anômalo.

Figura 4.2 - Composição NIR/MIR/RED em RGB delimitando as duas regiões definidas para a aquisição de dados, em amarelo a área a NW e em ciano a área a SE do lineamento.

4.2.4 A estatística aplicada a imagens multitemporais

Nas séries temporais contínuas, suas estatísticas sumarizam o seu comportamento durante o tempo. KUENZER; DECH; WAGNER (2015) mostram a importância do estudo de determinados parâmetros em séries temporais, especialmente as que passam de uma década. Esses autores mostram alguns parâmetros que podem ser analisados a partir da análise estatística, tais como a média, os valores máximos e mínimos, o desvio padrão, a variância, suas anomalias, sua tendência e seus pontos de mudança de tendência.

Neste trabalho alguns parâmetros estatísticos foram calculados para cada pixel. Isso permitiu com que fossem produzidas imagens para cada um desses parâmetros. Foram calculadas a média, a variância, o desvio absoluto médio, o desvio padrão, a obliquidade e a curtose.

A média foi calculada conforme mostrado na equação 2 e mostra o valor médio de NDVI de sua série temporal. O desvio padrão, calculado pela equação 3, mostra o desvio existente entre os valores ao redor da média. Sua variância foi calculada conforme a equação 4 e mede quanto e como os dados variam. De forma similar, o desvio absoluto médio, calculado pela equação 5, mostra como variam esses valores ao redor da mediana. Sua obliquidade, calculada pela equação 6, mede o grau de assimetria da distribuição. Já sua curtose, calculada pela equação 7, mede a forma da curva de distribuição dos valores e mostra o quão intenso é o peso nas caudas da curva de distribuição. Nas equações abaixo, x_j é o valor do píxel x na data j e N é o número total de datas da série temporal.

$$Média = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j \quad (2)$$

$$Variância = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (x_j - Média)^2 \quad (3)$$

$$Desvio\ padrão = \sqrt{Variância} \quad (4)$$

$$Desvio\ absoluto\ médio = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |x_j - Média| \quad (5)$$

$$Obliquidade = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{x_j - Média}{\sqrt{Variância}} \right)^3 \quad (6)$$

$$Curtose = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{x_j - Média}{\sqrt{Variância}} \right)^4 - 3 \quad (7)$$

4.2.5 Trabalho de campo

Durante esta pesquisa foi também realizado um trabalho de campo entre os dias 28 de outubro de 2016 e 9 de novembro de 2016. Este trabalho foi realizado pelo orientador e uma equipe de engenheiros florestais (Prof^a. Dr^a. Cibele Hummel do Amaral e Moreno Botelho) e contou apenas com o auxílio indireto do autor devido à ausência de financiamento. A equipe foi hospedada na sede da fazenda Recreio, localizada sobre o lineamento, em 17° 33' 50" S e 56° 47' 18" W. O trabalho teve como objetivo analisar a vegetação em campo, acrescentando à análise de geobotânica fenológica dados florísticos. A hipótese a ser verificada em campo era que o lineamento delimitasse áreas diversas também do ponto de vista florístico.

Foram definidas previamente parcelas de 20x30 m em coberturas arbóreas nos dois lados do lineamento em estudo e apenas em fragmentos

florestais preservados há mais de 30 anos, ou seja, em avançado estado de florestamento. Foi utilizado um par de imagens de seca da série Landsat, uma TM de 1986 e uma imagem atual, de 2016, para verificar o estado das parcelas e para demarcá-las, bem como para a navegação em tempo real em campo. Em campo, entretanto, foi essencial usar as imagens de alta resolução espacial RapidEye e Pleiades, bem como o auxílio do próprio fazendeiro e de um funcionário. Com isso, duas exigências seriam cumpridas: não haveria maior presença de espécies pioneiras por ser área de avançado estado de florestamento e seriam abordados apenas fragmentos florestais, ou seja, fisionomicamente semelhantes.

Em cada parcela foram identificadas as espécies dos indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 5 cm. A partir destas informações foi calculada a matriz dos índices de similaridade Jaccard (J), considerando as espécies presentes em todos os pares de parcelas. Para tanto, analisam-se as espécies presentes em ambas as parcelas e a partir das espécies presentes em apenas em uma delas, utilizando a equação 8, onde a é o número de espécies em comum às duas florestas, b é o número de espécies exclusivas a uma das parcelas e c é o número de espécies exclusivas à outra parcela.

$$Jacc = \frac{a}{a+b-c} \quad (8)$$

Na ausência de espécies em comum, o índice tem valor zero e a dissimilaridade é máxima. No caso de todas as espécies ocorrerem em ambas as parcelas, o valor é um e a similaridade é máxima. Para valor igual ou acima de 0,25 a vegetação das parcelas é considerada similar.

A matriz de coeficientes de similaridade entre espécies presentes em parcelas pode ser analisada por diversos caminhos. Aqui foram aplicadas duas abordagens muito distintas, uma por ordenação, isto é, organizando os locais (parcelas) dentro de uma sequência teoricamente contínua (MCCOY; BELL; WALTERS, 1986) e outra aplicando a técnica de Agrupamento Hierárquico (*Hierarchical Clustering*) e elaboração de dendrogramas agrupando as parcelas mais similares. Essa técnica consiste em agrupar parcelas próximas,

estabelecendo uma hierarquia entre os dados. A métrica de distância para a confecção do dendrograma foi o próprio índice de Jaccard.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dessa pesquisa descrevem de várias maneiras a importância desta feição no desenvolvimento da vegetação pantaneira, bem como sua relação com a geologia regional. Sua importância é demonstrada através da relação entre o comportamento e o tipo da vegetação presente nas duas áreas, bem como a presença de terremotos na área, uma evidência adicional da atividade tectônica.

5.1 Histórico de imagens Landsat da área estudada

O histórico das imagens Landsat foi construído para verificar uma eventual influência antrópica na área do lineamento nos últimos 40 anos. Nas Figuras 5.1 a 5.9 pode-se observar a persistência do lineamento durante o período. Na área de estudo observa-se que houve mudanças a NE da área onde foi feito o campo. Mas o lineamento é igualmente visível em todas as imagens.

Figura 5.1 - Imagens Landsat dos sensores MSS de 13/06/1975 (RGB NIR/Green/Blue). Observa-se a presença do lineamento desde imagens mais antigas, apesar das alterações que ocorreram na área.

A análise das imagens nos permitem traçar algumas deduções. A imagem de 1975 (Figura 5.1), apesar da sua baixa qualidade pela presença de nuvens, permite observar o lineamento bem demarcado com áreas alagadas em ambos os lados do lineamento, mostrando que estão suscetíveis a alagamento sazonais, pois se trata de uma imagem de meados de junho, período de inundação na área. Além disto, essa imagem tem um caráter histórico, pois trata-se da imagem mais antiga da área, demonstrando a persistência temporal da feição estudada.

Figura 5.2 - Imagens Landsat dos sensores MSS de 14/08/1982 (RGB NIR/Green/Blue). Observa-se a presença do lineamento desde imagens mais antigas, apesar das alterações que ocorreram na área.

A imagem de 1982 (Figura 5.2) mostra a ocupação antrópica, através de pastagens, na área que não era extensa, incluindo a presença de revegetação em parte do lineamento. Nota-se ainda a existência de áreas alagadas em toda a imagem, entretanto há uma aglomeração dessas áreas alagadas na área a NW do lineamento.

Figura 5.3 - Imagens Landsat dos sensores TM de 08/09/1986 (RGB NIR/Green/Blue). Observa-se a presença do lineamento desde imagens mais antigas, apesar das alterações que ocorreram na área.

A imagem de 1986 por sua vez mostra uma área alagada mais extensa que nas outras imagens na área a SE do lineamento em que pese ser uma imagem de setembro, quando as cheias já terminaram na área a SE do lineamento, podendo ser reflexo de uma cheia anômala naquele ano. A área a NW do lineamento é coberta por floresta inundável e nesse caso, quando o dossel é fechado, a inundao no detectada em imagens ticas. A observao cuidadosa destas imagens, particularmente a de 1975, obtida em junho e em pleno perodo de cheia da rea a NW do lineamento, mostra que nas clareiras dessa floresta inundvel os pxels so negros, indicando a inundao.

Figura 5.4 - Imagens Landsat dos sensores TM de 08/09/1992 (RGB NIR/Green/Blue). Observa-se a presença do lineamento desde imagens mais antigas, apesar das alterações que ocorreram na área.

Figura 5.5 - Imagens Landsat dos sensores TM de 01/07/1996 (RGB NIR/Green/Blue). Observa-se a presença do lineamento desde imagens mais antigas, apesar das alterações que ocorreram na área.

Já nas imagens de 1992 e 1996 (Figura 5.4 e 5.5) ocorreu uma redução das áreas antropizadas com desenvolvimento de vegetação em áreas previamente desmatadas. A imagem de 2003 (Figura 5.6) reflete o florestamento que pode ser observado nas imagens de 1992 e 1996. Apesar das nuvens na imagem de 2003 nesse ano as áreas alagadas na área SE do lineamento são menos extensas que as observadas anteriormente. Na área a NW do lineamento a inundação sob o dossel aparece mais intensamente na imagem de 1992.

Figura 5.6 - Imagens Landsat dos sensores TM de 23/09/2003 (RGB NIR/Green/Blue). Observa-se a presença do lineamento desde imagens mais antigas, apesar das alterações que ocorreram na área.

A imagem de 2007 (Figura 5.7) mostra um aumento nas áreas modificadas na área a SE do lineamento pela muito menor proporção de resposta de vegetação fotossinteticamente ativa, podendo-se observar alguns limites de propriedades ou de invernadas que anteriormente eram praticamente invisíveis. Por outro lado, o fato das imagens serem do período de estiagem a maior proporção de solo exposto pode ser devida apenas à maior intensidade da seca. Apesar do aumento das regiões desmatadas a presença do lineamento é igualmente visível. Já nas imagens recentes de 2013 e 2015 (Figura 5.8 e 5.9) podemos observar que houve uma redução nas áreas desmatadas ou de pasto e, possivelmente, com a superposição de uma seca menos intensa, preservando o verde da vegetação.

Figura 5.7 - Imagens Landsat dos sensores TM de 17/08/2007 (RGB NIR/Green/Blue).
Observa-se a presença do lineamento desde imagens mais antigas, apesar das alterações que
ocorreram na área.

Figura 5.8 - Imagens Landsat dos sensores TM de 01/08/2013 (RGB NIR/Green/Blue). Observa-se a presença do lineamento desde imagens mais antigas, apesar das alterações que ocorreram na área.

Figura 5.9 - Imagens Landsat dos sensores TM de 07/08/2015 (RGB NIR/Green/Blue). Observa-se a presença do lineamento desde imagens mais antigas, apesar das alterações que ocorreram na área.

O IBAMA disponibilizou em 2011 um relatório onde analisou o impacto das ações antrópicas no Pantanal, através da identificação das áreas desmatadas e analisando seu crescimento no período de 2002 a 2009 a partir de uma série de imagens Landsat. O resultado mostra as áreas afetadas por desmatamento. Na Figura 5.10 essas áreas foram plotadas em cima de uma imagem OLI de 2015. Sua análise mostra que não houve aumento da área desmatada a NW.

Figura 5.10 - Imagem OLI de 07/08/2015 em RGB (NIR/Green/Blue) com as áreas mapeadas pelo IBAMA como desmatadas em amarelo. Observa-se uma redução ou ao menos contenção desse desmatamento ao analisar a série de imagens Landsat aqui apresentadas.

Fonte: IBAMA 2011.

A partir dos dados apresentados podemos concluir que houve desmatamentos, entretanto ocorreram em pequenas áreas, sem significado para o estudo. O crescimento dessas áreas nos 40 anos de registro não é significativo e pode-se afirmar que a área é consideravelmente preservada. Essas imagens justificam e permitem que o conjunto de métodos utilizado, quase sempre relacionado diretamente com as coberturas vegetais, seja aplicado.

5.2 Geofísica

A complexidade do arcabouço tectônico do Pantanal é pouco conhecida, como afirmado por ASSINE et al. (2015b) ao discutir a influência das falhas no Pantanal. Essas falhas ligadas à reativação de descontinuidades antigas, como já apresentado por SOARES; ASSINE; RABELO (1998), são responsáveis pelos

frequentes sismos na bacia, como apresentado na Figura 5.11. Os lineamentos no Pantanal refletem seu substrato e são oriundos de suas possíveis reativações neotectônicas. A partir disso, discute-se a continuidade de estruturas antigas e profundas em seu arcabouço tectônico.

O projeto Rondonópolis 2025 da Companhia Nacional de Energia Nuclear foi um levantamento aerogeofísico da área adjacente ao Pantanal a oeste. Esse levantamento possibilitou trabalhos como CURTO et al. (2013), (2014) e CURTO (2015), que estudaram a associação entre zonas de falha que apresentam descontinuidades magnéticas com o Lineamento Transbrasiliano. CHAMANI (2011), ao discutir sobre a presença dessa estrutura de magnitude continental, sugere uma abertura em *splay* na área do Pantanal. Desta forma é possível e provável a presença de estruturas correlatas no Pantanal, como indicado por SOARES; ASSINE; RABELO (1998), que mostraram evidências de falhas no Pantanal, tais como a captura do Rio Paraguai, como continuidade de um grande lineamento que cruza o Pantanal na área.

Embora SOARES; ASSINE; RABELO (1998) mostrem evidências dessas falhas no Pantanal, sua continuidade na Bacia do Paraná não foi verificada. A estrutura aqui em estudo, por outro lado, mostrou uma forte ligação com as estruturas estudadas por CURTO (2015), como mostrado abaixo na Figura 5.11. Na figura pode-se observar que há uma certa continuidade da estrutura aqui estudada, através do caráter retilíneo do rio Vermelho, afluente do rio São Lourenço, na borda do Pantanal, possivelmente controlado por essa estrutura, e também pela diferença de vegetação mostrada através da imagem da métrica fenológica de amplitude que será explicada posteriormente.

Foram registrados terremotos recentes na área do lineamento em estudo (dados obtidos através do Centro de Sismologia da USP, acessados através do seguinte endereço eletrônico <http://www.sismo.iag.usp.br/>). BERROCAL et al. (1984) aponta em seu livro o Pantanal como uma das regiões mais sismicamente ativas do Brasil. Embora os sismos indiquem, como uma de suas possíveis causas, a reativação dessa falha, não se pode afirmar isto pois as estações sismográficas se encontram distantes e esses epicentros podem estar deslocados em até 20 km.

A partir disso permite-se inferir que a área estudada registra sismos frequentes que podem ser gerados pela reativação neotectônica das estruturas antigas que compõe o arcabouço tectônico do Pantanal. Esse arcabouço possui falhas ligadas ao Lineamento Transbrasiliano mas também a outras estruturas de grande dimensão, como as falhas associadas à Faixa Paraguai. A falha aqui em estudo, em particular, por se situar na continuidade da zona de falhas General Carneiro, estrutura estudada por CURTO (2015), possui razoáveis evidências de ser ligada àquela estrutura de magnitude continental.

Figura 5.11 - Resultado da magnetometria obtida através dos levantamentos aéreos do projeto Rondonópolis 2025 com os lineamentos interpretados por CURTO et al. (2015) ligados ao Lineamento Transbrasiliano. Em magenta, os sismos que já ocorreram na área obtidos através do site <http://www.sismo.iag.usp.br/>. Ao fundo imagem média (2001-2015) de setembro de NDVI.

5.3 Comparação da variabilidade fenológica entre as regiões NW e SE

5.3.1 Comparação dos dados de pluviosidade com os dados de vegetação

A variação das espécies de vegetação no Pantanal ocorre de acordo com as diferenças no regime de inundação (ADÁMOLI, 1995; POTT; SILVA, 2015) que é função de fatores como o solo, o clima e o regime de inundações que pode, por exemplo, ser alterado por pequenas variações na topografia de origem geológica (ALMEIDA et al., 2015). Através das séries temporais construídas em cima das imagens MODIS é possível registrar o comportamento da vegetação no tempo. Sua boa resolução temporal e seu baixo ruído, além da presença da banda de qualidade de píxel (*pixel reliability*), permitem que essas séries sejam construídas e sua resolução espacial de 250 m as tornam ideais para este tipo de estudo em grandes áreas como o Pantanal.

São raras as estações meteorológicas no Pantanal e entorno e o uso da estimativa de precipitação pelo sistema sensor TRMM é uma fonte de informação muito utilizada, com numerosos trabalhos na literatura. Testado na área da Bacia do Alto Paraguai e comparado com dados de pluviômetros, gerou dados consistentes, apresentando ainda a vantagem de disponibilizar séries temporais contínuas (COLLISCHONN et al., 2007). A partir da série temporal do produto 3B43 dos sensores TRMM, que estima a pluviosidade média mensal, pode-se comparar e correlacionar a influência da chuva no comportamento da vegetação. Devido à resolução espacial das imagens TRMM (27,5 km no local), foi considerado um grupo de 5 píxels acima e abaixo do lineamento e uma área semelhante foi estabelecida para as imagens de NDVI (Figura 5.12).

Figura 5.12 - Localizações das regiões noroeste e sudeste do lineamento em vermelho e as imagens TRMM (pluviosidade mensal) a esquerda e MODIS (NDVI) a direita.

Analisando os perfis temporais de pluviosidade observa-se que são muito parecidos (Figura 5.13). Existem variações na pluviosidade mensal nas áreas noroeste e sudeste, entretanto são pequenas, justificando assim a alta correlação entre os dois conjuntos de dados ($r=0,99$).

Figura 5.13 - Comparações entre os perfis temporais de pluviosidade das regiões noroeste e sudeste do lineamento estudado.

O perfil temporal de NDVI da área a noroeste do lineamento mostrou-se pouco correlacionado ao perfil temporal de precipitação (Figura 5.14). Isso mostra que nessa área a vegetação é menos dependente das chuvas. A

correlação entre a vegetação e a pluviosidade instantânea, ou seja, sem atraso, é de 0.38, mostrando dessa forma que essas variáveis não são linearmente dependentes. Devido ao tempo de reação da vegetação aos períodos de chuva e seca, foram adicionados dois períodos diferentes de atraso a essas variáveis. Mesmo com o tempo de resposta da pluviosidade na vegetação de um mês e de dois meses, essa correlação ainda se mantém baixa, sendo 0,41 e 0,36, respectivamente. A partir disso podemos concluir que nessa área a chuva local não é um fator tão importante nas variações do verdor da vegetação.

Figura 5.14 - Comparações entre os perfis temporais de pluviosidade das regiões noroeste e sudeste do lineamento estudado.

Já na área a SE (Figura 5.15) existe uma forte ligação entre os perfis. Nas épocas de maiores secas (menor pluviosidade) o NDVI responde da mesma forma, de forma análoga ao que ocorre com o cerrado. Podemos observar esse fenômeno quando calculamos a correlação instantânea, que é de 0,58, ou seja, mesmo imediatamente os dados já possuem uma correlação moderada e quando adicionamos os atrasos de um mês e de dois meses, temos 0,68 e 0,60, respectivamente, mostrando assim que a vegetação depende linearmente da precipitação de maneira moderada, diferente do que observamos a NW.

Figura 5.15 - Comparações entre os perfis temporais de pluviosidade das áreas contíguas nordeste e sudeste.

O trabalho de DANELICHEN et al. (2016) encontrou resultados análogos para uma situação semelhante no norte do Pantanal, comparando vários parâmetros, entre eles o NDVI, com o teor volumétrico de água (TVA) no solo em uma fazenda na borda norte do Pantanal e outra tomada por Cambarazal, mais ao sul. A correlação de Spearman entre TVA e NDVI para a primeira, mais susceptível ao déficit hídrico, é de 0,75, e para a segunda, apenas 0,40. Os dados aqui encontrados indicam intensa correlação entre pluviosidade e NDVI para a área a SE do lineamento em estudo e, indiretamente, o maior escoamento e perda da água do período chuvoso nesta área quando comparada à área a NW do lineamento.

Pode-se, portanto, concluir que a NW do lineamento a vegetação é menos dependente das chuvas locais e que a disponibilidade hídrica é em grande parte devida à água em superfície e subsuperfície associada às bacias hidrográficas dos vários rios perenes (Cuiabá, São Lourenço, Piquiri) que cortam esta porção norte do Pantanal. Observe-se, em acréscimo, que os mapas de solos disponíveis para a região (RADAMBRASIL, 1982; FERNANDES et al., 2007) não indicam variação associada ao lineamento, reforçando ainda mais a importância da água na variação fenológica e florística. Essa situação não é particularmente incomum. O que é incomum é a linearidade do contato entre áreas com disponibilidade hídrica tão distinta nos períodos de estiagem. EVANS et al. (2014) e WWF- BRASIL (2009) apresentam e discutem a variabilidade da vegetação da área e citam, nesse caso, a diferença na dinâmica hidrológica

como fonte dessa diferença e mostram a importância da feição estudada por esse lineamento e seu significado ambiental. Sua linearidade e dimensão indicam origem geológica para esta variabilidade entre tipos de vegetação, como sendo o produto de uma possível falha. A direção principal das drenagens a sul do lineamento é de sudeste para noroeste sugerindo assim que o bloco noroeste estaria abatido em relação ao sudeste. ASSINE et al. (2015b) sugere essa movimentação quando descreve um sistema de falhas de direção NE-SW que controla áreas de maior ou menor subsidência.

A área do lineamento possui sedimentos arenosos e altamente permeáveis do megaleque do Taquari que retém pouco a água em superfície. De forma análoga, os sedimentos da área noroeste são oriundos das áreas fonte dos rios Cuiabá, São Lourenço e Paraguai, que possuem rica variabilidade mineralógica e granulométrica e retém mais a água em superfície.

5.3.2 O perfil sazonal de verdor

O lineamento de vegetação estudado varia seu contraste de verdor de acordo com a época do ano. Em imagens do período de chuvas sua visualização se torna bem menos clara do que no período de seca, pois a diferença entre o verdor nas áreas se torna pequena logo após os períodos chuvosos e grande nos períodos de seca. Afim de estudar sua variabilidade foi construída uma série temporal de imagens do produto MOD13Q1. A partir dessa série temporal, após realizada sua filtragem, tornou-se possível visualizar o comportamento temporal de qualquer área dentro do Pantanal. Visando conhecer melhor o comportamento dos dois ambientes que compõe o contraste que constitui este lineamento e de mostrar como ocorrem as variações conforme o tempo, foram definidas áreas contíguas em cada lado dessa feição. Essas áreas foram limitadas pela área de maior contraste nas imagens de seca e foram definidas de forma a conterem áreas iguais, retangulares e contíguas (Figura 4.1).

A variação sazonal do NDVI da série completa de 15 anos (2001-2015) no entorno do lineamento mostra as variações da vegetação sob dois aspectos principais nas áreas a NW e SE do lineamento em estudo: a NW os valores de verdor são mais elevados (a vegetação é mais densa e fotossinteticamente ativa) e sua variação é menos acentuada (seu verdor permanece nas secas e a

senescência é mais tênue). Seu perfil contínuo das 345 imagens (Figura 5.16) demonstra com detalhe como são essas variações na área a NW são sempre mais discretas que as a SE do lineamento e seus valores mais altos. A diferença na intensidade das variações sazonais nas duas áreas deve-se ao fato da origem da água disponível para a vegetação ser diferente: enquanto na área SE é predominantemente das chuvas locais, na NW, além destas, há a introdução de água pelo fluxo de rios perenes e da água subterrânea associada. O pico mínimo do NDVI na área a NW se adianta em relação ao da área SE (oito entre os quinze anos). O ano de 2002 é o que apresentou a maior independência entre a evolução sazonal do verdor nas duas regiões e o ano de 2010 teve o comportamento mais semelhante, com intensa e simultânea queda no verdor.

Figura 5.16 - Série temporal para o período de 2001 a 2015. Em linha contínua preta o comportamento da área a NW do lineamento e em tracejado cinza a área a SE.

Analisando a estimativa de precipitação mensal média para o período 2001-2012 na Bacia do Alto Paraguai, apresentada em PENATTI et al. (2015), esta tendência de descompasso não é explicada. Logo, a origem desse comportamento não é dada por fatores climáticos, mas sim por uma diferença entre disponibilidade hídrica dada por uma maior presença de água superficial a noroeste e menor presença a sudeste.

A série temporal média demonstra como os dados se comportam sem levar em consideração as diferentes variações climáticas que afetam a área, como observa-se na série contínua. O período de maior verdor da vegetação está, para ambas as áreas, entre os DOYs 017 (17 de janeiro) e 097 (07 de abril) e o pico máximo centrado no DOY 65 (06 de março). A queda mais brusca para a área SE ocorre entre os DOYs 161 (10 de junho) e 225 (13 de agosto),

permanecendo relativamente estável até o DOY 257. Já para a área NW a queda no verdor, mais discreta, ocorre entre os DOYs 129 (09 de maio) e 161 (10 de junho), permanecendo relativamente estável até o DOY 257 (14 de agosto). Com o fim da seca o verdor da área SE aumenta rapidamente até o DOY 305 (1º de novembro), e o da área NW o faz lentamente, mas no mesmo período. O pico de senescência é discretamente atrasado na área SE, centrado no DOY 241 (29 de agosto), confirmando o interpretado da Figura 5.17.

A independência do comportamento da vegetação frente às chuvas locais (muito semelhantes nas médias de precipitação mensal) informa os fluxos d'água nas duas áreas, mas também do conjunto de espécies dominantes em cada área, com a rápida rebrota na área SE de gramíneas e vegetação de pequeno porte com as primeiras chuvas em meados de setembro. A partir dessa análise cabe avaliar a importância da chuva na variação sazonal de ambas as áreas.

Figura 5.17 - Variação do NDVI médio em imagens MODIS compostas de 16 dias nas regiões adjacentes ao lineamento.

5.4 Métricas fenológicas

A partir da forma do perfil temporal de cada píxel da série de imagens NDVI MODIS pode-se extrair indicadores sazonais importantes para descrever a dinâmica da vegetação. As denominadas métricas fenológicas resumem os vários estágios de verdor da vegetação em seu ciclo anual, definindo características diversas da estação de crescimento. Essas variáveis fenológicas podem ser calculadas para um ciclo anual específico ou para um ciclo anual médio. Na primeira abordagem, ao analisar o comportamento de anos

específicos, a informação é muito dependente do clima no período e pode refletir comportamentos anômalos. O dado médio é indicado quando for desejável calcular um comportamento médio da vegetação e, neste caso, quanto mais longa for a série menores serão os desvios em função de variações climáticas. Neste trabalho esses parâmetros foram calculados para uma série de 15 anos, objetivando compreender o comportamento geral.

A interpretação dessas métricas é feita a partir imagens médias para o período de 15 anos e também a partir de perfis de varredura. Esses perfis, por mostrarem o comportamento dos dois lados do lineamento, permitem compreender não apenas o que pode ser observado nas imagens, mas ainda permitem explicar a variação dos parâmetros fenológicos, inclusive em regiões antropizadas e regiões anômalas. A área na qual esses perfis foram calculados é apresentada na Figura 5.18.

Figura 5.18 - Imagem em RGB, imagens de NDVI de março julho e outubro, realçando a área onde foi feito o perfil de varredura. O sentido das linhas em amarelo são as linhas de amostragem para a geração do perfil. Observe-se que o rumo ao qual os perfis foram extraídos, de NW para SE.

5.4.1 Métrica máximo

Os valores máximos médios de verdor da vegetação variaram entre 0,05 e 0,91 (Figura 5.19), delimitando o lineamento como o contraste entre os valores de máximo maiores a noroeste e menores a sudeste. Seu perfil de varredura explica como ocorre a variação dessa métrica e é mostrado na Figura 5.20. O intervalo interquartil para essa métrica é baixo, mostrando assim que de uma forma geral os valores desviam pouco da média, com exceção da área limítrofe ao lineamento. Essa área limítrofe possui um maior desvio por existir tanto a vegetação de alto verdor dominante na área noroeste como vegetação de verdor mais baixo presente a sudeste além de áreas com água livre que apresentam

valores baixos de NDVI (regiões alagadas e rios intermitentes). A curva com os menores valores anômalos da métrica máximo mostra menores valores na área noroeste do que na área sudeste. Esses valores estão ligados a campos inundados que possuem valores que tendem a zero e não a valores com forte senescência. A origem da diferença que existe na curva se deve a noroeste possuir mais área com prolongada inundação, que possuem um NDVI menor do que as regiões desmatadas ou inundadas por curtos períodos, responsáveis pelos menores valores da área sudeste. Os campos inundáveis na área sudeste favorecem árvores como o Cambará, que apresenta características ecológicas e fisiológicas favoráveis para seu espalhamento e, logo, aumenta o verdor dessas áreas em que se esperava baixos valores. Observe-se ainda que os valores máximos não apresentam variabilidade importante ao longo de toda a extensão do perfil, indicando que os verdores máximos são semelhantes, apenas com persistência variada. Em resumo, considerando a hipótese central, de que a área a noroeste do lineamento é mais propícia a inundações e alagamentos por estar mais baixa em relação à área sudeste, a indicação desta métrica é que a noroeste dominam áreas de verdor mais intenso, enquanto que a sudeste ocorrem mais áreas onde o verdor máximo é baixo, com vegetação menos densa e suscetíveis a senescência por carência de água.

Figura 5.19 - Imagem média da métrica máximo. O contraste aqui acontece entre máximos mais altos a noroeste e menores a sudeste.

Figura 5.20 - Perfil de varredura da métrica máximo.

5.4.2 Métrica mínimo

Os valores mínimos médios de NDVI na área variaram de 0,18 a 0,85 (Figura 5.21). Nessa métrica, o lineamento aparece bem marcado e, de forma análoga à métrica anterior, os maiores valores de mínimo NDVI também ocorrem na área noroeste do lineamento. O perfil de varredura (Figura 5.22) mostra como ocorre a variação dessa métrica. A curva que apresenta os menores valores anômalos corresponde a regiões desmatadas ou permanentemente alagadas. A curva dos maiores valores encontrados na imagem da métrica mínimo, mostra que logo após o lineamento, na área sudeste, mesmo as áreas que possuem alto verdor (área de mata fechada), possuem valores de NDVI mínimo menores do que na área noroeste. Observa-se também que o intervalo entre o primeiro e o terceiro quartil é maior, mostrando assim que existe um maior desvio da média, indicando que, nesse caso, apesar da média descrever bem o comportamento geral da área, o desvio padrão existente é maior do que o observado anteriormente na métrica do valor máximo. O verdor mais preservado a noroeste do lineamento indica ausência ou menor importância de estresse hídrico devido a sazonalidade, corroborando à hipótese da pesquisa de que a área a noroeste está mais baixa do que a área a sudeste.

Figura 5.21 - Imagem média da métrica mínimo. O contraste ocorre entre valores mínimos mais altos a noroeste e menores a sudeste.

Figura 5.22 - Perfil de varredura da métrica mínimo.

5.4.3 Métrica amplitude

A métrica amplitude (Figura 5.23) mede a magnitude de oscilação da série temporal, ou seja, mede o quão díspares são os valores máximos e mínimos. Na área a amplitude média variou de 0,13 a 0,56. Essa métrica mostra o contraste causado pela presença do lineamento entre os menores valores localizados na área noroeste e os maiores valores localizados na área sudeste. O motivo para tal distribuição se deve ao fato da vegetação a noroeste oscilar menos devido à alta disponibilidade hídrica durante todo o ano. Já na área sudeste, por se tratar de uma área mais dependente das chuvas locais, como mostrado anteriormente, está à mercê das variações sazonais, que na área são intensas.

O perfil de varredura desta métrica (Figura 5.24) mostra como ocorre a variação da amplitude na área do lineamento. Os valores anômalos máximos de amplitude mostram valores maiores na área noroeste do lineamento do que na área sudeste, pois essa área está mais propícia a alagamentos que, em áreas desmatadas e recobertas por gramíneas, não são alteradas pelo dossel das florestas. Esses alagamentos causam uma falsa resposta baixa de NDVI e causam uma alta oscilação do índice de vegetação na série temporal. O intervalo interquartil é pequeno, dessa forma, o perfil médio para essa métrica representa bem seu comportamento geral tanto na área noroeste como na área sudeste do lineamento. O perfil com os menores valores anômalos possui menores valores a noroeste do que a sudeste, pois a vegetação a noroeste é menos dependente do regime de chuvas. Na área sudeste os baixos valores de amplitude representam as poucas regiões com vegetação sob influência fluvial presentes ao redor de corixos ou grandes vazantes.

Em relação à hipótese da pesquisa, a métrica de Amplitude é uma indicação mais clara, indicando o menor senescência da vegetação na área a noroeste do lineamento nas longas estiagens (baixa oscilação na série temporal), o que suporta a hipótese desta área estar abatida em relação à área a sudeste do lineamento. Com relação à faixa contínua de extremamente baixa amplitude logo a noroeste do lineamento, interpretou-se como uma área em que há disponibilidade hídrica para as raízes, mas que muito raramente sofre inundações, como informado pelo proprietário da fazenda (comunicação pessoal Eng. Sérgio Baruki). Com isso inexistiu a diminuição da resposta do NDVI pela participação de água livre ao nível de sub-píxel, pois o dossel raramente será

responsável por toda a reflexão. Na presença de água recobrindo o estrato herbáceo, a resposta no infravermelho próximo será proporcional à área foliar do dossel.

Figura 5.23 - Imagem média da métrica amplitude. O contraste ocorre entre valores de amplitude menores a sudeste e maiores a noroeste.

Figura 5.24 - Perfil de varredura da métrica amplitude.

5.4.4 Métrica taxa de rebrota

A métrica taxa de rebrota mostra a intensidade com que o NDVI cresce do início da estação até seu valor máximo, que na área de estudo variou de - 0,04 até 0,31 (Figura 5.25). O lineamento apresenta-se marcado pelo contraste entre os menores valores a noroeste, devido à abundância de água e à ausência de efeitos das secas, e valores maiores na área sudeste devido à escassez de água para a vegetação na estação de estiagem. Ou seja, onde a vegetação seca mais na estiagem a taxa de rebrota com a volta das chuvas é mais intensa que nas áreas onde a vegetação já está verde.

A curva com os valores anômalos mais altos é maior na área sudeste, mas apresenta picos altos na área noroeste (Figura 5.26). Esses picos na área noroeste são oriundos de estação chuvosa, quando áreas consideráveis da área ficam alagadas, gerando uma falsa impressão de alto crescimento com a descida da água e o aumento do NDVI em função da vegetação de gramíneas que recobre a superfície antes inundada. O intervalo interquartil é grande nas regiões mais afastadas do lineamento, devido ao fator anteriormente citado, que gera uma grande quantidade de dados anômalos. Os valores anômalos baixos são próximos a zero na área noroeste, pois trata-se de uma vegetação que pouco ou nunca seca, já na área sudeste esses baixos valores estão ligados a pequenas regiões com influência fluvial, como regiões próximas a drenagens (vazantes). Observe-se que na área imediatamente a noroeste do lineamento a taxa de rebrota é mínima, confirmando o indicado na métrica de amplitude.

Figura 5.25 - Imagem média da métrica taxa de rebrota. O contraste ocorre entre taxas menores a sudeste e maiores a noroeste.

Figura 5.26 - Perfil de varredura da métrica taxa de rebrota.

5.4.5 Métrica taxa de senescência

A taxa de senescência mede a variação com a qual a vegetação perde verdor, ou seja, a intensidade com que a vegetação seca, sua imagem média

está apresentada na Figura 5.27. Na área essa taxa variou de -0,04 a 0,4. O lineamento apresenta-se bem marcado nessa métrica como um contraste entre as baixas taxas na área imediatamente a noroeste daquela feição, oriundas de uma vegetação que sofre pouca ou nenhuma influência das estações de seca, por se tratar de uma área mais resistente a seca por haver água superficial ou subsuperficial rasa disponível, contrastando com as altas taxas na área sudeste, onde a vegetação sofre nos períodos de seca.

A curva com os valores atípicos mais altos apresenta picos de valores altos distribuídos pelas duas regiões (Figura 5.28). Esses valores na área noroeste são gerados principalmente pelas poucas áreas desmatadas, que, quando inundadas, fazem o NDVI cair acentuadamente, aumentando artificialmente seu valor de taxa de senescência. Já na área sudeste esses picos podem ser gerados por regiões antropizadas, mas também são geradas por regiões nas quais a vegetação está sujeita a faltas d'água drásticas geradas por um solo muito permeável. O intervalo interquartil nessa métrica é pequeno, ou seja, existem poucos valores anômalos e por isso a curva média representa bem essa métrica. Já a curvas de baixos valores atípicos possuem valor baixo na área noroeste devido à vegetação que pouco seca pela influência fluvial, e na área sudeste, às poucas áreas onde esse tipo de vegetação (sob influência fluvial) predomina, pois sempre há resposta da clorofila.

Figura 5.27 - Imagem média da métrica taxa de senescência. O contraste ocorre entre taxas de senescência menores a noroeste e maiores a sudeste.

Figura 5.28 - Perfil de varredura da métrica taxa de senescência.

5.4.6 Métrica produtividade sazonal

Os valores da métrica produtividade sazonal são uma estimativa de produtividade durante a estação de crescimento e variaram de 0,02 a 0,14

(Figura 5.29). Nessa métrica o contraste que demarca o lineamento estudado é entre os valores baixos a noroeste, por se tratar de uma floresta sempre-verde em contraste com cerradões e capões que são semidecíduos, e os valores mais altos a sudeste, por serem coberturas vegetais mais decíduas. Em outras palavras, as poucas variações sazonais na área noroeste levam a uma produção sazonal baixa, ao contrário do que ocorre na área sudeste, que sofre intensamente com a seca, perdendo folhas e clorofila na estiagem.

A curva que representa os valores anômalos altos na área noroeste tem respostas expressivas. Esses valores altos são gerados pelas regiões desmatadas, que possuem variação sazonal de NDVI por serem propícias a alagamento, sofrendo com o efeito da queda do NDVI devido à presença de água. Seus valores são baixos na área do lineamento, pois essa área está bem preservada e não sofre com o efeito da queda de NDVI provocado por inundações. Já na área sudeste os valores anômalos altos representam áreas onde há uma intensa senescência e rebrota, como previsto em TELES (2015). O intervalo interquartil é pequeno, logo a média representa bem essa área, sobretudo na área do lineamento. Os baixos valores anômalos na área noroeste são resultado de regiões onde os ciclos de senescência e rebrota são muito pequenos ou inexistem quando sua produtividade sazonal é próxima a zero. Já na área sudeste esses valores representam as poucas áreas de vegetação sob influência fluvial que existem nessa área.

Figura 5.29 - Imagem média da métrica produtividade sazonal. O contraste ocorre entre valores menores a noroeste e maiores a sudeste.

Figura 5.30 - Perfil de varredura da métrica produtividade sazonal.

A produtividade total leva em consideração o que já havia sido produzido antes e durante a estação de crescimento. Ou seja, uma cobertura vegetal densa e vigorosa deve ter uma maior resposta que uma vegetação esparsa. Na área

de estudo os valores de desta métrica variaram entre 1,27 e 19,9. Entretanto, há contraste baixo entre as regiões noroeste e sudeste nessa métrica, com o lineamento sendo pouco visível. Observa-se apenas uma variação mais intensa entre valores muito altos e muito baixos na área noroeste. Esta variação poderia ser explicada pela presença/ausência de inundação aparente. Mas do ponto de vista espacial essa hipótese não se confirma.

Apesar da imagem da métrica mostrar um contraste baixo entre as duas áreas opostas do lineamento, o perfil de varredura mostra que existe um contraste entre elas. A curva de valores máximos não apresenta grande variabilidade nas duas regiões, sendo discretamente mais elevado na área a noroeste, onde predominam florestas, enquanto a sudeste predominam savanas. Embora exista em ambas as regiões vegetação densa e com baixa senescência, essas coberturas são espacialmente muito mais presentes na área noroeste. O intervalo interquartil é grande, dessa forma, o perfil médio não representa de fato o que está acontecendo na área. O perfil dos baixos valores apresenta fortes oscilações, pois representa regiões com um comportamento análogo ao da área como um todo. Já na área do lineamento os valores baixos são ainda menores e em ambos os lados, em um padrão que não se explicou, aventando-se por se tratar da área onde se mescla a vegetação das duas regiões. Já a sudeste os valores baixos são mais elevados que a noroeste, o que foi considerado função de haver raras e fugazes inundações.

Figura 5.31 - Imagem média da métrica produtividade total. O contraste ocorre entre valores menores a noroeste e maiores a sudeste.

Figura 5.32 - Perfil de varredura da métrica produtividade total.

5.5 Comportamento dos modelos digitais de elevação na área de estudo

O Pantanal é uma área muito plana, sugerindo que pequenas variações de relevo devam aparecer bem marcadas em modelos digitais de elevação (MDE), particularmente as possivelmente geradas por falhas, por suas grandes

dimensões laterais. Entretanto, não é o que se observa na área de estudo, pois a vegetação influencia fortemente nas variações de relevo produzidas e geram falsas altitudes. Os desníveis no ambiente pantaneiro são de poucos metros, de dimensões inferiores à altura do dossel de coberturas florestais e na área abrangida pelo lineamento de vegetação estudado a cobertura vegetal florestal predomina justamente a noroeste, onde o terreno está abatido em relação ao sudeste, dominado por savanas de altura mais baixa. Afim de corrigir as falsas elevações causadas pela vegetação, O'LOUGHLIN et al. (2016) sugeriram um método baseado nos dados dos sensores Icesat GLA 14 e MODIS. Seu resultado é mostrado abaixo juntamente com o MDE produzido a partir do SRTM-1 arc-sec. O resultado produzido por O'LOUGHLIN et al. (2016), entretanto, possui uma resolução espacial de aproximadamente 90 m, enquanto o produzido pelo dado SRTM possui resolução de 30 m. Isso ocorre porque a disponibilidade do SRTM-1 arc-sec na ocasião da elaboração daquele trabalho ainda não era disponível para a América do Sul. A Figura 5.33 mostra a área de estudo e o lineamento aqui estudado como MDE, tanto gerado por dados SRTM de resolução mais fina (30 m), como o de O'LOUGHLIN et al. (2016). Entretanto, em ambos os MDEs o lineamento é praticamente invisível. Na área do lineamento observa-se apenas leve variação da altitude, de menos de 1 m. Sabe-se que a área sudeste é mais alta do que a área noroeste (devido ao fluxo das drenagens e ausência de inundações generalizadas), entretanto, não se observa isso ao analisar o SRTM, nem mesmo após corrigido o efeito da vegetação. ALMEIDA et al. (2007b), ao discutirem o relevo da Baixa Nhecolândia, utilizaram filtros passa-baixas lineares para minimizar as variações de alta frequência na altitude associadas a fragmentos de vegetação arbórea. Naquela área e escala de trabalho os resultados foram positivos. Mas ao abordar o lineamento de vegetação em estudo tal procedimento não funciona, pois ocorre vegetação mais elevada onde o terreno é mais baixo.

A partir dessa análise, pode-se concluir que os modelos digitais de elevação baseado na interferometria de micro-ondas apresentam problemas na detecção de falhas em regiões muito planas como o Pantanal e salienta-se a importância da análise da vegetação e da geobotânica para a detecção dessas

estruturas, bem como no estudo da evolução geológica e mesmo das coberturas vegetais do Pantanal.

Figura 5.33 - A esquerda o modelo digital de elevação SRTM com suas pequenas variações para o Pantanal, e a direita o SRTM com a vegetação corrigida por O'LOUGHLIN et al. (2016).

5.6 Estatística das imagens multitemporais na área de estudo

Em longas séries temporais, devido à grande quantidade de dados, uma das formas de analisar e resumir o comportamento temporal é através da sùmula estatística da variável estudada no tempo. Os cálculos de parâmetros estatísticos por píxel em séries temporais mostram variações e tendências interessantes (KUENZER; DECH; WAGNER, 2015). Através da série temporal completa de NDVI, com 345 imagens durante 15 anos, filtrada com o filtro Savitsky-Golay, foi realizado o cálculo de parâmetros estatísticos para cada píxel.

5.6.1 Média

A média dos valores de verdor durante os 15 anos é apresentada na Figura 5.34 demonstrando uma síntese geral do comportamento da área, onde observa-se o contraste no verdor (NDVI) causado pelo lineamento. Seus valores variaram entre 0,19 e 0,87. A noroeste, tem-se valores de NDVI médios mais altos, provavelmente provocados pela alta disponibilidade hídrica da área e sua baixa dependência de fatores climáticos. Já na área sudeste, devido à sua maior

dependência das chuvas locais e maior taxa de senescência e rebrota, encontram-se valores de NDVI médio mais baixos, exceto em drenagens e fragmentos mais amplos de vegetação florestal.

Figura 5.34 - Imagem da média das 345 imagens de NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.

A partir da imagem de média, observa-se que na área noroeste existem regiões de NDVI médio mais baixos, gerados provavelmente pelas inundações sazonais. Esses locais de médias mais baixas estão concentrados principalmente nas regiões do entorno do rio São Lourenço. A área sudeste por sua vez, apresenta regiões de NDVI consideravelmente maiores do que o entorno, por serem regiões próximas aos rios temporários (vazantes), mas que possuem disponibilidade hídrica maior do que seus arredores. Um rio perene (rio Formoso) ocorre no extremo Leste da área de estudo e se associa a uma floresta, com comportamento similar ao da área noroeste.

5.6.2 Desvio padrão, desvio absoluto médio e variância

Além da média, outros parâmetros estatísticos mostram informações interessantes sobre a vegetação. O desvio padrão, o desvio absoluto médio e a variância, nos informam sobre a dispersão dos valores da série temporal de 15 anos de verdor. A análise desses dados nos informam sobre sua natureza e também nos permitem chegar a importantes deduções.

O desvio padrão mede a dispersão dos dados em torno da média de NDVI. Na Figura 5.35 observamos a imagem composta pelos valores de desvio padrão, com valores variando entre 0,01 e 0,20 obtidos a partir da série temporal de 15 anos. Os valores mais altos de desvio padrão, ou seja, os locais onde os valores são mais diferentes da média, são mais altos a sudeste do lineamento. Isso ocorre porque nessa área as variações sazonais do NDVI são mais bem marcadas, devido à dependência do verdor do regime de chuvas. Já na área noroeste predominam valores baixos de desvio padrão. O baixo valor de dispersão do verdor é oriundo das pequenas variações de NDVI que existem nessa área, como é pouco afetada por efeitos meteorológicos e mais dependente da água superficial/subsuperficial associada aos rios perenes. As regiões antropizadas, em geral pastagens cultivadas, aparecem com alto desvio padrão, pois trata-se de regiões onde o índice de vegetação varia muito em função de alagamentos recobrirem com facilidade o pasto de gramíneas e diminuir ou zerar o NDVI.

Figura 5.35 - Imagem de desvio padrão das 345 imagens NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.

O desvio médio absoluto é uma medida robusta de variabilidade de um conjunto de dados e trata-se da média aritmética das distâncias entre cada valor e a mediana. Seu resultado é apresentado na Figura 5.36 e assemelha-se ao desvio padrão, por se tratar também de uma medida de dispersão. O contraste que marca o lineamento ocorre entre a área noroeste, de baixa variabilidade de verdor, e a área sudeste, com alta variabilidade de verdor.

Figura 5.36 - Imagem de desvio médio absoluto das 345 imagens NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.

Outra importante medida de dispersão dos valores de verdor é a variância (Figura 5.37). Trata-se da expectativa do desvio quadrático de uma variável aleatória e sua média. Dessa forma a variância quantifica a variabilidade do verdor para com sua média. Seu resultado mostra o lineamento bem marcado por um contraste entre baixa variância a noroeste e alta variância a sudeste. Os altos valores da área noroeste ocorrem porque a vegetação pouco varia com o tempo nessa área. Já na área sudeste sua variância é maior por se tratar de uma área onde os valores de NDVI variam sazonalmente de acordo com o período de chuvas. Entre as duas regiões existe uma pequena faixa de variância intermediária, mostrando assim que a vegetação no contato possui uma variabilidade maior do que a presente na área noroeste, porém menor do que a observada a sudeste. As regiões próximas ao rio São Lourenço (e Piquiri mais a

Leste) possuem uma variância mais alta do que a área ao seu redor. Isso ocorre por se tratarem das planícies de inundação daqueles rios, dessa forma os valores de verdor são diretamente afetados pelo excesso de água.

Figura 5.37 - Imagem de variância das 345 imagens NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.

5.6.3 Obliquidade

A obliquidade é a medida de assimetria de uma distribuição de dados em relação a uma distribuição normal (obliquidade = 0). A medida de assimetria é feita com relação às caudas da distribuição, de forma que valores positivos significam uma maior frequência na cauda direita e valores negativos na cauda esquerda. Seu resultado é mostrado na Figura 5.38 e seus valores variam entre -6,7 e 0,89, dessa forma variam entre distribuições assimétricas negativas (alta frequência de valores altos) e distribuições próximas a normais.

Embora sua interpretação na vegetação seja pouco trivial, observa-se que há um contraste entre assimetrias nas regiões noroeste e sudeste. As regiões em vermelho na imagem, mais concentradas na área noroeste, possuem assimetria negativa, ou seja, uma maior tendência a valores intensos de verdor. Já nas regiões em azul na Figura 5.38, apresentam píxels com distribuição simétrica, ou seja, normal. Embora predominem píxels com assimetria negativa, a área noroeste possui valores de assimetria nulas, ou seja, próximos a zero, marcados em azul escuro na imagem. Esses valores estão concentrados nas proximidades com os rios São Lourenço/Piquiri, mostrando que nessa área o verdor se manteve em uma distribuição normal durante o tempo, com as fases de baixo verdor se associando aos períodos de inundação e, em sua ausência (que se concentra em uma única fase anual), a vegetação se mantém verde. A área sudeste possui uma assimetria negativa moderada, sendo assim menos frequentes valores altos de NDVI, devido a ser uma área com verdor menos intenso no tempo, pela predominância de vegetação savânica menos densa, e a presença da estação seca que afeta de forma mais rígida essa área.

Figura 5.38 - Imagem de obliquidade das 345 imagens NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.

5.6.4 Curtose

A curtose é uma medida de forma da curva de distribuição dos valores e mede quão concentrados são os valores em torno do centro em relação a uma distribuição normal. Dessa forma, valores mais positivos de curtose indicam uma maior frequência de valores anômalos, ou seja, a distribuição possui um alto peso em suas caudas. Analogamente, baixos valores de curtose indicam uma menor frequência de valores anômalos e um baixo peso em suas caudas.

A Figura 5.39 mostra os valores de curtose para a área estudada e também a presença entre um contraste de curtoses nos valores de 15 anos de NDVI das regiões NW e SE. Na área NW observam-se valores de curtose maiores, indicando uma maior frequência de valores anômalos durante no tempo. Isso demonstra que apesar da vegetação nessa área passar a maior parte do tempo sem alterações no verdor, ela é mais suscetível a

senescência/redução de verdor causada por grandes secas ou grandes cheias. Já a área SE, que sempre apresenta variações sazonais, valores extremos causados por grandes secas são menos frequentes.

Figura 5.39 - Imagem de curtose das 345 imagens NDVI/MODIS do produto MOD13Q1 para a área estudada.

5.7 Análise dos dados de campo

Estudos de comunidades ecológicas muitas vezes partem do princípio de que as espécies têm padrões de organização não aleatória em função de fatores bióticos e abióticos e, nesse contexto, índices de similaridade são frequentemente utilizados para estudar a coexistência de espécies ou a similaridade entre locais de amostragem (JACKSON; SOMERS; HARVEY, 1992). Aqui é analisada a matriz de índices de Jaccard (JACCARD, 1908), um índice clássico que informa da similaridade florística entre coberturas vegetais, aqui abreviado como J. Como visto anteriormente neste capítulo, o lineamento

de vegetação estudado comporta-se como notável divisor de comportamento fenológico, indicando a presença de padrões não-aleatórios de um e outro lado do lineamento. Aqui testou-se a hipótese de que o lineamento também fosse notável divisor florístico, quando haveria dissimilaridade entre as coberturas florestais de um e outro lado do lineamento. Para isso foram estudadas 17 parcelas de 20 x 30 m feitas na área que engloba a fazenda Recreio e vizinhanças (Figura 5.40), cuja sede fica praticamente sobre o lineamento em estudo.

Em campo foram estudadas 17 parcelas, sendo nove situadas a SE do lineamento de vegetação, seis a NW e duas em ambiente de transição, nas proximidades do lineamento (Figura 5.41). Foram analisados 621 indivíduos arbóreos com diâmetro a 1,30 m de altura acima de 5 cm, distribuídos em 69 espécies, pertencentes a 68 gêneros e 32 famílias botânicas. Em ALMEIDA et al. (2017) as parcelas foram classificadas em florestas inundáveis (cinco parcelas), ecótonos ou florestas de transição (uma parcela) e cerradões ou florestas sobre cordilheiras (onze parcelas). Aqui foi considerado haver duas florestas de transição, ambas quase sobre o lineamento e com composição florística indeterminada em relação à distribuição entre as regiões sudeste e noroeste. A mais caracteristicamente de transição é a da parcela 9, que por J pode ser considerada similar às parcelas 2 (floresta sobre cordilheira na área sudeste) e parcela 5 (floresta com intensa e longa inundação na área noroeste). Já a parcela 8, embora não apresentando $J \geq 0,25$ quando comparada com outras parcelas, tem semelhanças florísticas com parcelas amostradas em capões ou florestas sobre cordilheiras (parcelas 2 e 6) ou com floresta com intensa e longa inundação (parcela 5).

Embora todas as parcelas de florestas inundáveis estejam a NW do lineamento de vegetação, uma das parcelas características de capões ou floresta sobre cordilheira (terminologia pantaneira para elevações de 2 a 4 m, aqui em geral associadas a diques marginais ou paleodiques) encontra-se a NW do lineamento em local elevado (dique marginal de vazante) e não sujeito a inundação (parcela 6). Esta parcela, portanto, situa-se a NW do lineamento, mas, florística e ambientalmente, equipara-se às parcelas situadas a SE do lineamento, classificadas como cerradões e florestas sobre cordilheiras. Observa-se, por fim, que a floresta da parcela 6 é de tal forma distinta das de sua vizinhança que os habitantes locais a chamam por nome próprio (Capão da Vera).

Obtidos os índices de similaridade de Jaccard para todos os pares de parcelas, foram feitos dois procedimentos para seu tratamento e interpretação: a ordenação visual e o agrupamento hierárquico. Em acréscimo, foi calculado o Jentre as parcelas feitas a NW e a SE do lineamento, considerando ou não a parcela 6.

Figura 5.40 - Localização das parcelas em mosaico de imagens RapidEye obtidas em período de seca. Bandas 543 em RGB, realce de contraste por equalização. A tonalidade amarelada dos fragmentos florestais a SE do lineamento deve-se ao aumento da refletância na banda 4 (*red edge*) em função de um *red shift* por estresse hídrico

5.7.1 Ordenação de parcelas a partir da matriz de índices de Jaccard

Uma matriz de coeficientes de similaridade entre espécies presentes em parcelas pode ser analisada por ordenação, isto é, organizando os locais de amostragem (parcelas) dentro de uma sequência teoricamente contínua (MCCOY; BELL; WALTERS, 1986). Obtida a matriz do índice de Jaccard para todo o grupo de parcelas, os dados foram tabulados ordenando, para cada parcela, os valores de J e indicando a que parcela corresponde aquele valor (Tabela 3.1). A partir desta tabela analisou-se visualmente a similaridade florística entre as florestas encontradas nas parcelas para verificar a similaridade entre as situadas a SE e as situadas a NW do lineamento, numa abordagem puramente espacial. Foram comparados, assim, os J de cada parcela com todas as demais. Para facilitar a visualização, uma nova tabulação foi gerada (Tabela 3.1) utilizando cores para cada classe (florestas inundáveis, cerradão/capões e floresta sobre cordilheiras). Observe-se, entretanto, que nesta abordagem foram consideradas apenas as parcelas de ocorrência, efetiva, a NW do lineamento

(em azul) e a SE do lineamento (em vermelho). Considera-se, assim, que as vegetações amostradas nas parcelas em áreas de transição (parcelas 8 e 9) podem ser mais similares floristicamente tanto àquelas a NW, como a SE. Procurou-se quantificar a intensidade de similaridade entre cada parcela e as demais de sua classe (NW-NW, SE-SE) e a dissimilaridade com as parcelas da classe antagonista (NW-SE, SE-NW). Em função da exclusão das parcelas em área de transição, há um total de 15 parcelas em análise: seis localizadas a NW e nove a SE.

Para o conjunto de nove parcelas a SE do lineamento observou-se que sete tem 100% dos maiores J relativos a parcelas situadas no mesmo lado, ou seja, sete em nove parcelas a SE do lineamento são floristicamente mais similares entre si. Para as duas outras parcelas a SE, onde a relação proximidade/afastamento em termos de similaridade florística foi imperfeita (parcelas 2 e 15), os dados são também fortes, havendo, sempre que excluir a parcela 6, que interrompe a série de maiores proximidades florísticas por sua alta similaridade com parcelas localizadas a SE. Considerando, portanto, todo o conjunto de J da porção SE, 97,2% dos maiores valores foram entre parcelas do mesmo lado do lineamento (das 72 interações entre parcelas a SE apenas dois J não estiveram entre os maiores valores).

Para o conjunto de parcelas a NW do lineamento, excluindo-se a parcela 6, observou-se que quatro das cinco parcelas apresentaram 100% dos maiores J relativos a parcelas situadas no mesmo lado, ou seja, a NW do lineamento. Apenas a parcela 7 mostrou pior relação proximidade/afastamento de similaridade, com uma parcela situada a SE interrompendo a série. Ou seja, das 20 interações possíveis, apenas uma fugiu à tendência de agrupamento, representada por 95% das interações entre as parcelas a NW.

A Tabela 3.2 mostra duas outras abordagens acerca da distribuição espacial dos J encontrados. A primeira identifica as parcelas similares, com $J \geq 0,25$, entre todos os pares possíveis. Há 38 pares de parcelas similares e em apenas dois casos houve classificação entre par de parcelas situadas em lados diferentes do lineamento. Mas essa é uma resposta particular, pois trata-se em ambos os casos da parcela 6, que amostrou uma floresta em área topograficamente elevada (cordilheira) em meio à floresta inundável. Mesmo

considerando este “*outlier*” ambiental, 94,7% dos pares de florestas similares ocorrem no mesmo lado do lineamento.

Figura 5.41 Exemplo da vegetação da área NW em A e da área SE em B.

A segunda abordagem trata de todo o conjunto de 225 J através do $J_{\text{médio}}$ de cada parcela com todas as demais, excluindo as parcelas de transição. Considerando o conjunto de nove parcelas a SE do lineamento, quatro tem $J_{\text{médio}} = 0,000$ com as parcelas a NW e, excluindo-se a parcela 6, passam a seis com $J_{\text{médio}} = 0,000$, situação em que o $J_{\text{médio}}$ máximo é de 0,076 (parcela 2). Já entre as parcelas da mesma área (a SE) o $J_{\text{médio}}$ é de 0,194. Considerando as parcelas da área a NW, sempre excluindo a parcela 6, o $J_{\text{médio}}$ com as parcelas da área a SE é de 0,014 (mínimo de 0,011 e máximo de 0,020) enquanto para as parcelas de mesma área (a NW) é de 0,269. A subtração do par “ $J_{\text{médio}}$ com as parcelas da mesma área” e “ $J_{\text{médio}}$ com as parcelas da outra área” resulta em perfeito atendimento à divisão geográfica: todos os valores são positivos, com a exceção esperada da parcela 6, que nitidamente pertence à classe das parcelas da área SE. Nesta abordagem as parcelas menos características de sua área geográfica são as 2 e 15 para a porção SE, enquanto para a NW, além da já discutida parcela 6, apenas a parcela 5, mais próxima ao rio São Lourenço e submetida a inundações muito mais frequentes e prolongadas, seria menos característica.

Considerando os dois ordenamentos feitos, pode-se agrupar as parcelas feitas a SE do lineamento e, entre as feitas a NW, destaca-se como exceção a parcela 6, feita em elevação associada a dique marginal de vazante. Assim, excluindo da análise as parcelas feitas em ecótonos (parcelas 8 e 9) e o citado “*outlier*” ambiental que é a parcela 6, há pela ordenação do J agrupamento contínuo entre as parcelas da mesma área em 13 das 15 parcelas (excetuando

os ecótonos). Ou seja, a similaridade florística atende perfeitamente à divisão geográfica dada pelo lineamento em 13/15 das parcelas, respectivamente parcelas 1, 3, 4, 10, 11, 14 e 17 na área SE e 7, 12, 13 e 16 na área NW. Observe-se que, mesmo para os quatro casos em que não ocorre perfeita classificação por área, pelo menos as três maiores similaridades são com parcelas da mesma área geográfica.

Tabela 5.1 - Valores de J entre cada parcela e as parcelas da área, exceto as parcelas de transição. As parcelas a SE do lineamento vermelho e a NW em azul.

Parcela 1*	Parcela 2	Parcela 3*	Parcela 4*	Parcela 5
0,27 4	0,31 17	0,33 17	0,31 15	0,25 12
0,25 10	0,21 3	0,27 10	0,28 14	0,2 16
0,21 3	0,2 1	0,21 1	0,27 1	0,13 7
0,2 2	0,2 6**	0,21 2	0,25 10	0,12 13
0,2 6**	0,13 7	0,21 6**	0,24 11	0,06 2
0,2 15	0,12 4	0,18 11	0,17 3	0,06 6**
0,17 11	0,11 11	0,17 4	0,17 17	0,04 15
0,13 14	0,08 14	0,13 14	0,12 2	0 1
0,13 17	0,07 10	0,1 15	0,12 6**	0 3
0 5	0,07 15	0 5	0 5	0 4
0 7	0,06 12	0 7	0 7	0 10
0 12	0,06 5	0 12	0 12	0 11
0 13	0,06 13	0 13	0 13	0 14
0 16	0,04 16	0 16	0 16	0 17
Parcela 6**	Parcela 7	Parcela 10*	Parcela 11*	Parcela 12*
0,42 17	0,36 12	0,38 11	0,38 10	0,5 16
0,23 3	0,29 16	0,27 3	0,24 4	0,45 13
0,21 2	0,27 13	0,25 1	0,18 3	0,36 7
0,2 4	0,13 2	0,25 4	0,17 1	0,25 5
0,2 1	0,13 5	0,24 15	0,17 6**	0,07 2
0,17 11	0,06 6**	0,14 14	0,13 15	0,05 15
0,14 15	0,05 11	0,08 17	0,11 2	0 1
0,12 10	0 1	0,07 2	0,11 14	0 3
0,07 14	0 3	0,07 6**	0,11 17	0 4
0,06 5	0 4	0 5	0,05 7	0 6**
0,06 7	0 10	0 7	0 5	0 10
0 12	0 14	0 12	0 12	0 11
0 13	0 15	0 13	0 13	0 14
0 16	0 17	0 16	0 16	0 17
Parcela 13*	Parcela 14*	Parcela 15	Parcela 16*	Parcela 17*
0,73 16	0,38 15	0,38 14	0,73 13	0,42 6**
0,45 12	0,28 4	0,31 4	0,5 12	0,33 3
0,27 7	0,14 10	0,24 10	0,29 7	0,31 2
0,12 5	0,13 1	0,2 1	0,2 5	0,17 4
0,09 15	0,13 3	0,13 11	0,06 2	0,13 1
0,06 2	0,11 11	0,1 3	0,04 15	0,11 11
0 17	0,08 2	0,1 17	0 1	0,1 15
0 14	0,04 17	0,09 13	0 3	0,08 10
0 11	0 5	0,05 12	0 4	0,04 14
0 10	0 6**	0,04 2	0 6**	0 5
0 6**	0 7	0,04 5	0 10	0 7
0 4	0 12	0,04 6**	0 11	0 12
0 3	0 13	0,04 16	0 14	0 13
0 1	0 16	0 7	0 17	0 16

*parcelas em que todas as demais da mesma área, com exceção da parcela 6, são as de maiores J. ** parcela que, embora geograficamente situe-se na área onde predomina floresta inundável (NW), está numa elevação e, floristicamente, se relaciona com o cerradão

Tabela 5.2 – J médio de cada parcela com as demais parcelas da mesma área e com as da outra área. São também listadas as parcelas com florestas similares.

Parcelas	J médio com as parcelas da mesma área (1)	J médio com as parcelas da outra área (2)	(1) – (2)	J médio com as parcelas da outra classe excluindo parcela 6	Parcelas com floresta similar
Parcela 1	0,195	0,033	0,195	0,000	4 e 10
Parcela 2	0,143	0,097	0,067	0,076	17 (9, de transição)
Parcela 3	0,200	0,035	0,200	0,000	10 e 17
Parcela 4	0,226	0,020	0,226	0,000	1, 10, 14 e 15
Parcela 10	0,210	0,012	0,198	0,000	1,3,4 e 11
Parcela 11	0,179	0,037	0,142	0,010	10
Parcela 14	0,161	0,000	0,161	0,000	4 e 15
Parcela 15	0,188	0,043	0,145	0,044	4 e 14
Parcela 17	0,159	0,070	0,089	0,000	2 e 3 (6, outra classe)
Média Parcelas SE	0,194	0,027	-	0,014	-
Parcela 5	0,152	0,011	0,141	0,011	12 (9, de transição)
Parcela 6	0,024	0,159	-0,135		17 (de outra classe)
Parcela 7	0,222	0,020	0,202	0,020	12, 13 e 16
Parcela 12	0,312	0,013	0,299	0,013	5,7, 13 e 16
Parcela 13	0,314	0,017	0,297	0,017	7, 12 e 16
Parcela 16	0,344	0,011	0,333	0,011	7, 12 e 13
Média Parcelas NW	0,228	0,039	-	0,014	-

5.7.2 Dendrograma de agrupamento hierárquico

A literatura mostra um vasto uso de dendrogramas gerados por agrupamento hierárquico utilizando o coeficiente de similaridade de Jaccard entretanto, seu uso em para estudos florísticos em florestas são relativamente incomuns (CHIAPPY-JHONES et al., 2001; GOMES; ALVES, 2009). No Pantanal (POTT et al., 2011), estudando a diversidade de macrófitas aquáticas, para obter a similaridade florística entre os locais de amostragem aplicou como método de análise de agrupamento o *Unweighed Pair Group Method with*

Arithmetic, obtendo dendodograma com resultado considerado excelente e robusto do ponto de vista estatístico.

A Figura 5.42 mostra o dendrograma gerado por agrupamento hierárquico, onde estão perfeitamente agrupadas as parcelas de florestas inundáveis mais características (parcelas 7, 12, 13 e 16). Essas compartilham espécies que não são observadas do outro lado do lineamento, como, por exemplo, *Licania parvifolia* (Pimenteira). Observe-se que apenas as parcelas 5 (sujeita a inundações mais longas pela proximidade do rio São Lourenço) e 6 (não sujeita a inundações), localizadas a NW do lineamento, não estão agrupadas. Há um segundo grupo, de Cerradões, com espécies chaves da formação, como a *Curatella americana* (Lixeira) (parcelas 1, 4, 14 e 15). Há por fim um grupo (parcelas 10, 11, 2, 3, 6 e 17) onde foram amostrados capões e florestas sobre cordilheiras, com elevado compartilhamento de espécies com os Cerradões, mas que também apresenta espécies exclusivas, como, por exemplo, *Sterculia apetala* (Manduvi). E há três parcelas que não se agruparam, duas em áreas de ecótonos e distantes entre si (parcelas 8 e 9) e uma localizada próxima ao Rio São Lourenço (parcela 5), em ambiente tipicamente de longo período de inundação, onde foram observadas espécies exclusivas, como *Sapium obovatum* (Figueirinha).

Figura 5.42 - Dendrograma de aglomeração hierárquica dos J de todo o conjunto de parcelas.

Obteve-se, por fim, o J entre as duas regiões delimitadas pelo lineamento, excluindo as duas parcelas consideradas de transição. Considerou-se, assim, o conjunto de parcelas feitas a NW e a SE como amostras da vegetação de cada área. Considerando que a parcela 6 é preservada das inundações, característica geral das demais parcelas da área NW, testou-se incluí-la ou não à análise. O objetivo foi enriquecer a discussão da variabilidade florística delimitada pelo lineamento e, ao mesmo tempo, da importância da água na composição

florística, pois a parcela 6 está cercada por florestas inundáveis. Incluindo a parcela 6, o J resultou em valor relativamente alto (1,875), não indicando significativa variabilidade florística entre os dois lados do lineamento. Com sua exclusão, entretanto, o J caiu para 0,096, realçando sobremaneira seu caráter de “outlier ambiental”. Esta abordagem leva a duas conclusões complementares: (1) o lineamento de fato delimita duas florestas muito dissimilares e (2) a origem de tal dissimilaridade é essencialmente a exposição às inundações.

As abordagens aqui apresentadas para tratar os dados de campo são passíveis de replicação a partir dos dados brutos – a lista das espécies por parcela – que estão apresentados nos anexos (no Anexo1 as listas de espécies por parcela e no Anexo 2 a lista de todas as espécies amostradas). O método que se utiliza do ordenamento pelo valor do J (com exclusão das parcelas de transição) permite classificar as parcelas em dois grupos geograficamente separados pelo lineamento. Os resultados do agrupamento hierárquico mostram a proximidade das parcelas em floresta inundável e resultados interessantes, ainda que menos claros, quanto às parcelas feitas em Cerradão e sobre elevações. Por outro lado, o agrupamento hierárquico isola de agrupamentos as duas parcelas consideradas de transição, corroborando sua classificação como de ecótono, e a única parcela próxima ao rio São Lourenço. Em resumo, os dados de similaridade florestal, com as diferentes abordagens aqui utilizadas, confirmam a hipótese central da pesquisa no aspecto florístico, indicando haver distribuição seletiva de espécies entre ambiente não inundável (mais elevado, associado à área SE e à parcela 6) e inundável, rebaixado, a NW.

6 CONCLUSÕES

A principal conclusão desta pesquisa é a constatação da existência de uma falha, que gera uma variação fenológica e florística – observada em imagens de satélite e em campo. Tais variações, por sua vez, caracterizam-se por estar a área a noroeste do lineamento topograficamente menos elevada do que a área a sudeste. Trata-se da expressão na vegetação de uma falha com componente vertical de rejeito. Esta conclusão por uma origem geológica de um contato entre coberturas vegetais diferentes apoiou-se tanto nas dimensões e linearidade da feição, como por ela se situar na continuidade de um sistema de falhas já mapeado na literatura, a zona de cisalhamento General Carneiro. Zona

esta que é considerada uma estrutura subsidiária do Lineamento Transbrasiliiano que, por sua vez, possui dimensões continentais ao qual são associadas reativações tectônicas e diversos sismos e que, após 4.000 km no continente sul-americano, continua na África como Lineamento Kandi. Os dados gerados nesta pesquisa sugerem, desta forma, que um lineamento de vegetação com cerca de 100 km de extensão seja uma expressão local de uma estrutura proterozóica de grandes dimensões, de escala transcontinental.

A tese de que a vegetação do Pantanal é fortemente controlada pela presença e padrões de inundações é há muito defendida na literatura, mas o estudo de uma parcela de floresta crescida em meio a quilômetros de florestas inundáveis, mas em pequena elevação que a preserva das inundações, é importante reforço àquela tese e de alguma forma pode ser considerada uma conclusão: sobre aquele dique marginal de uma vazante ocorre vegetação característica de Cordilheiras e Capões com índice de similaridade de Jaccard médio de 0,024 com as parcelas de floresta inundável em seu entorno e de 0,159 com as comunidades vegetais amostradas a sudeste do lineamento estudado (Cordilheiras e Capões e Cerradões). Ou seja, a disponibilidade genética das proximidades geográficas teve reduzida a nula importância se comparada à pequena elevação que livra o fragmento florestal de inundações.

Concluiu-se, por fim, que a neotectônica é um dos processos geradores da variabilidade ambiental do Pantanal, aspecto habitualmente não considerado na literatura.

REFERÊNCIAS:

AB'SABER, A. N. O Pantanal Mato-Grossense e a teoria dos refúgios. **Revista Brasileira de Geografia**, v. 50, n. 2, p. 9–57, 1988.

ADÂMOLI, J. Zoneamento ecológico do Pantanal baseado no regime de inundações. **Encontro sobre sensoriamento remoto aplicado a estudos no Pantanal**, v. 1, p. 15–17, 1995.

ALHO, C. J. R. Biodiversity of the Pantanal: response to seasonal flooding regime and to environmental degradation. **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4 Suppl, p. 957–966, 2008.

ALMEIDA, F. F. M. Geologia do Sudoeste Mato-Grossense. **Boletim da Divisão**

de Geologia e Mineralogia, v. 116, 1945.

ALMEIDA, F. F. M. Geologia da Serra da Bodoquena (Mato Grosso), Brasil. **Boletim da divisão de Geologia e Mineralogia**, v. 219, p. 1–96, 1965.

ALMEIDA, T. I. R.; AMARAL, C. H. do; BOTELHO, M.; RIBEIRO, E. F.; PENATTI, N. C. Lineamento de vegetação de magnitude regional no Norte do Pantanal: variabilidade florística e fenológica em planície de sedimentos quaternários. **XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2017.

ALMEIDA, T. I. R.; FERNANDES, E.; MENDES, D.; BRANCO, F. C.; SÍGOLO, J. B. Distribuição espacial de diferentes classes de lagoas no Pantanal de Nhecolândia, MS: uma contribuição ao estudo de sua compartimentação e genese. **Geologia USP. Série Científica**, v. 7, n. 2, p. 95–107, 2007a.

ALMEIDA, T. I. R.; PENATTI, N. C. N.; FERREIRA, L. G.; ARANTES, A. E.; DO AMARAL, C. H. Principal component analysis applied to a time series of MODIS images: the spatio-temporal variability of the Pantanal wetland, Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, v. 23, n. 4, p. 737–748, 2015.

ALMEIDA, T. I. R.; PERROTTA, M. M.; SOUZA FILHO, C. R.; SANTOS, M. G. M. Geobotânica por sensoriamento remoto no mapeamento geológico de região recoberta por floresta amazônica de terra firme: uma avaliação metodológica na região do Vale do Guaporé (RO). **INPE, Simpósio Brasileiro Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 1951–1958, 2007b.

ASSINE, M. L. Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil. **Tese livre docência - Unesp Rio Claro**, p. 115, 2003.

ASSINE, M. L.; MACEDO, H. A.; STEVAUX, J. C.; BERGIER, I. Avulsive rivers in the hydrology of the Pantanal wetland. In: **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America in South America**. Springer, 2015a. p. 83–110.

ASSINE, M. L.; MERINO, E. R.; PUPIM, F. N.; WARREN, L. V; GUERREIRO, R. L.; MCGLUE, M. M. Geology and geomorphology of the Pantanal basin. In: **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer, 2015b. p. 23–50.

ASSINE, M. L.; SILVA, A. Contrasting fluvial styles of the Paraguay River in the northwestern border of the Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, v. 113, n.

3, p. 189–199, 2009.

ASSINE, M. L.; SOARES, P. C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v. 114, n. 1, p. 23–34, 2004.

ASSINE, M. L.; SOARES, P. C.; MILANI, É. J. Seqüências tectono-sedimentares mesopaleozóicas da Bacia do Paraná, sul do Brasil. **Brazilian Journal of Geology**, v. 24, n. 2, p. 77–89, 1994.

ASSINE, M.; PERINOTTO, J. Arquitetura estratigráfica, tratos deposicionais e paleogeografia da Bacia do Paraná (Brasil) no Neo-Ordoviciano/Eo-Siluriano. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, p. 61–86, 1998.

BAULIG, H. Sur une méthode altimétrique d'analyse morphologique appliquée à la Bretagne péninsulaire. **Bulletin de l'Association de géographes français**, v. 3, n. 10, p. 7–9, 1926.

BERROCAL, J.; ASSUMPÇÃO, M.; ANTEZANA, R.; DIAS NETO, C. M.; ORTEGA, R.; FRANÇA, H.; VELOSO, J. A. **Sismicidade do Brasil**. [s.l.] IAG-USP, 1984.

BRIGGS, I. Machine contouring using minimum curvature. **Geophysics**, v. 39, n. 1, p. 39–48, 1974.

BROOKS, R. R. R. **Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration**. Harper & Row, 1972.

CHAMANI, M. A. C. **Tectônica intraplaca e deformação sinsedimentar induzida por abalos sísmicos: o Lineamento Transbrasiliiano e estruturas relacionadas na Província Parnaíba, Brasil**. Tese de doutorado. USP, 2011.

CHANDOLA, V.; HUI, D.; GU, L.; BHADURI, B.; VATSAVAI, R. R. Using time series segmentation for deriving vegetation phenology indices from MODIS NDVI data. **Data Mining Workshops (ICDMW), 2010 IEEE International Conference on**, p. 202–208, 2010.

CHEN, J.; JÖNSSON, P.; TAMURA, M.; GU, Z. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. **Remote Sensing of Environment**, 2004.

CHIAPPY-JHONES; RICO-GRAY; GAMA; GIDDINGS. Floristic affinities

between the Yucatán Peninsula and some karstic areas of Cuba. **Journal of Biogeography**, v. 28, n. 4, p. 535–542, 2001.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 1, p. 93–99, 2007.

CURTO, J. B. **O lineamento transbrasiliano na bacia do paran: compartimento crustal do embasamento e reativaes fanerozicas**. 2015. Universidade de Braslia, 2015.

CURTO, J. B.; VIDOTT, R. M.; FUCK, R. A.; BLAKELY, R. J. Unveiling the Transbrasiliano fault system in northern Paran Basin using airborne magnetic data. **13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF**, p. 26–29, 2013.

CURTO, J. B.; VIDOTTI, R. M.; FUCK, R. A.; BLAKELY, R. J.; ALVARENGA, C. J. S.; DANTAS, E. L. The tectonic evolution of the Transbrasiliano Lineament in northern Paran Basin, Brazil, as inferred from aeromagnetic data. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 119, n. 3, p. 1544–1562, 2014.

CURTO, J. J. B.; VIDOTTI, R. R. M.; BLAKELY, R. R. J.; FUCK, R. A. R. Crustal framework of the northwest Paran Basin, Brazil: Insights from joint modeling of magnetic and gravity data. **Tectonophysics**, v. 655, p. 58–72, 2015.

DALLA NORA, E. L.; SANTOS, J. E. Anlise da dinmica sazonal de duas formaes florestais do bioma mata atlntica com base em ndices de vegetao. p. 41–51, 2010.

DANELICHEN, V. H. de M.; BIUDES, M. S.; SOUZA, M. C.; MACHADO, N. G.; NOGUEIRA, J. de S. Relations of vegetation and water indices to volumetric soil water content in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 37, n. 18, p. 4261–4275, 2016.

DE BEURS, K. M.; HENEBRY, G. M. Land surface phenology, climatic variation, and institutional change: analyzing agricultural land cover change in Kazakhstan. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 497–509, 2004.

DIAS, F. L. F.; ASSUMPO, M.; FACINCANI, E. M. E.; FRANA, G. S.;

ASSINE, M. L.; PARANHOS FILHO, A. C.; GAMARRA, R. M.; FILHO, C. P.; GAMARRA, R. M. The 2009 earthquake, magnitude mb 4.8, in the Pantanal Wetlands, west-central Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, p. 3, 2016.

EASTMAN, J. R.; FILK, M. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 59, n. 6, p. 991–996, 1993.

EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P. **TIMESAT 3.2 with parallel processing Software Manual**, 2015.(Nota técnica).

EKLUNDH, L.; JÖNSSON, P.; KUUSK, A. Investigating modelled and observed Terra/MODIS 500-m reflectance data for viewing and illumination effects. **Advances in Space Research**, v. 39, n. 1, p. 119–124, 2007.

EVANS, T. L.; COSTA, M.; TOMAS, W. M.; CAMILO, A. R. Large-scale habitat mapping of the Brazilian Pantanal wetland: A synthetic aperture radar approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 155, p. 8–108, 2014.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M.; SOARES, M. T. S.; PELLEGRIN, L. A.; LIMA, I. B. T. **Atualização do mapa de solos da planície pantaneira para o sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa Pantanal, 2007.

FERREIRA, L. G.; HUETE, A. R. Assessing the seasonal dynamics of the Brazilian Cerrado vegetation through the use of spectral vegetation indices. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 10, p. 1837–1860, 2004.

FULLER, G. D. Ecological Terms and Concepts. **Botanical Gazette**, v. 69, n. 2, p. 183–185, 1920.

GOMES, P.; ALVES, M. Floristic and vegetational aspects of an inselberg in the semi-arid region of Northeast Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, 2009.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote sensing of environment**, v. 83, n. 1, p. 195–213, 2002.

HUFFMAN, G.; BOLVIN, D.; NELKIN, E. The TRMM multisatellite precipitation analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation

estimates at fine scales. **Journal of Hydrometeorology**, v. 8, n. 1, p. 38–55, 2007.

JACCARD, P. Nouvelles recherches sur la distribution florale. **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**, 1908.

JACKSON, D. A.; SOMERS, K. M.; HARVEY, H. H. Null models and fish communities: evidence of nonrandom patterns. **The American Naturalist**, v. 139, n. 5, p. 930–951, 1992.

JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 40, n. 8, p. 1824–1832, 2002.

JÖNSSON, P.; EKLUNDH, L. TIMESAT - A program for analyzing time-series of satellite sensor data. **Computers and Geosciences**, v. 30, n. 8, p. 833–845, 2004.

JUNK, W. J.; DA CUNHA, C. N.; WANTZEN, K. M.; PETERMANN, P.; STRÜSSMANN, C.; MARQUES, M. I.; ADIS, J.; ALHO, C. J. R.; POTT, V. J.; POTT, A.; OLIVEIRA, a K. M.; DAMASCENO-JUNIOR, G. a; SILVA, J. S. V; STR??SSMANN, C.; MARQUES, M. I.; ADIS, J. Biodiversity and its conservation in the Pantanal of Mato Grosso, Brazil. **Aquatic Sciences**, v. 68, n. 3, p. 278–309, 2006.

JUNK, W. J.; NUNES DA CUNHA, C.; DA SILVA, C. J.; WANTZEN, K. M. The Pantanal: A large South American wetland and its position in limnological theory. In: **The Pantanal: Ecology, biodiversity and sustainable management of a large neotropical seasonal wetland**. Pensoft, 2011. p. 23–44, 2011.

JUSTICE, C.; TOWNSHEND, J.; VERMOTE, E. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1, p. 3–15, 2002.

KRUCKEBERG, A. R. Soil diversity and the distribution of plants, with examples from western North America. **Madrono**, v. 20, n. 3, p. 129–154, 1969.

KUENZER, C.; DECH, S.; WAGNER, W. Remote sensing time series revealing land surface dynamics: Status quo and the pathway ahead. In: **Springer International Publishing**. 22p. 458, 2015.

- LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O. Sensor MODIS: Produtos para Ecossistemas Terrestres-MODLAND. In: **O Sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. 2007
- LEIER, A. L.; DECELLES, P. G.; PELLETIER, J. D. Mountains, monsoons, and megafans. **Geology**, v. 33, n. 4, p. 289–292, 2005.
- LUYENDYK, A. Processing of airborne magnetic data. **AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics**, v. 17, p. 37–38, 1997.
- LYNCH, D. K.; HUDNUT, K. W.; JORDAN, F. Vegetation Lineaments Near Pearblossom: Indicators of San Andreas Foreberg-Style Faulting. **AGU Fall Meeting Abstracts**, v. 1, p. 2603, 2012.
- MCCOY, E. D.; BELL, S. S.; WALTERS, K. Identifying biotic boundaries along environmental gradients. **Ecology**, v. 67, n. 3, p. 749–759, jun. 1986.
- MYNENI, R. B.; KEELING, C. D.; TUCKER, C. J.; ASRAR, G.; NEMANI, R. R. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. **Nature**, v. 386, n. 6626, p. 698, 1997.
- NAIDU, P. S.; MATHEW, M. P. Analysis of geophysical potential fields: A digital signal processing approach. v. 5, 1998.
- NGUYEN, T. T. H.; DE BIE, C.; ALI, A.; SMALING, E. M. A.; CHU, T. H. Mapping the irrigated rice cropping patterns of the Mekong delta, Vietnam, through hyper-temporal SPOT NDVI image analysis. **International Journal of Remote Sensing**, v. 33, n. 2, p. 415–434, 2012.
- O'LEARY, D.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 87, n. 10, p. 1463–1469, 1976.
- O'LOUGHLIN, F. E.; PAIVA, R. C. D.; DURAND, M.; ALSDORF, D. E.; BATES, P. D. A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. **Remote Sensing of Environment**, v. 182, p. 49–59, 2016.
- PARANHOS FILHO, A. C.; NUMMER, A. R.; ALBREZ, E. A.; RIBEIRO, A. A.; MACHADO, R. A study of structural lineaments in Pantanal (Brazil) using remote sensing data. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 3, p. 913–22, 2013.

PENATTI, N. C. **Geobotânica e fenologia da superfície terrestre no estudo da diversidade do pantanal: uma abordagem multi-sensor**. Tese de doutorado USP, 2014.

PENATTI, N. C.; ALMEIDA, T. I. R. Subdivision of Pantanal quaternary wetlands: MODIS NDVI timeseries in the indirect detection of sediments granulometry. **ISPRS Int Arch Photogramm Rem Sens Spatial Inf Sci**, p. 311–316, 2012.

PENATTI, N. C.; DE ALMEIDA, T. I. R.; FERREIRA, L. G.; ARANTES, A. E.; COE, M. T. Satellite-based hydrological dynamics of the world's largest continuous wetland. **Remote Sensing of Environment**, v. 170, p. 1–13, 2015.

PERROTTA, M. M.; DE ALMEIDA, T. I. R.; DE SOUZA FILHO, C. R.; BAHIA, R. B. C.; DA COSTA, U. A. P.; SPLENDOR, F.; REIS, N. J.; BETIOLLO, L. M. Geobotânica por sensoriamento remoto como ferramenta no mapeamento geológico de área de floresta amazônica, uma aplicação na região de Apuí-Nova Aripuanã (AM). **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2009.

PONZONI, F.; SHIMABUKURO, Y.; KUPLICH, T. **Sensoriamento remoto da vegetação**. Oficina de textos, 2015.

POTT, A. Relações da vegetação com ambientes do Pantanal. **Encontro Sobre Sensoriamento Remoto Aplicado a Estudos no Pantanal**, p. 5–7, 1995.

POTT, A.; POTT, V. J. Plantas do pantanal. **Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal, Serviço de Produção de Informação**, 1994.

POTT, A.; POTT, V. J. Vegetação do Pantanal: fitogeografia e dinâmica. **Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, v. 2, p. 1065–1076, 2009.

POTT, A.; SILVA, J. da. Terrestrial and aquatic vegetation diversity of the Pantanal wetland. In: **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer, 2015. p. 111–131.

POTT, V. J.; POTT, A.; LIMA, L. C. P.; MOREIRA, S. N.; OLIVEIRA, A. K. M. Aquatic macrophyte diversity of the Pantanal wetland and upper basin. **Brazilian Journal of Biology**, v. 71, n. 1, p. 255–263, 2011.

RADAMBRASIL, P. **Folha SE-21 corumbá**. 1982

RATHCKE, B.; LACEY, E. P. Phenological Patterns of Terrestrial Plants. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 16, n. 1, p. 179–214, 1985.

REED, B. C.; BROWN, J. F.; VANDERZEE, D.; LOVELAND, T. R.; MERCHANT, J. W.; OHLEN, D. O. Measuring Phenological Variability from Satellite Imagery. **Journal of Vegetation Science**, v. 5, n. 5, p. 703–714, 1994.

REEVES, C. Aeromagnetic surveys: principles, practice and interpretation. **Published by Geosoft**, 2005.

ROUSE JR, J. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. 1972.

RUISONG, X.; YUELIANG, M. Remote sensing research in biogeochemistry of the Hetai gold deposit, Guangdong Province, China. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 2, p. 437–453, 2004.

RYMER, M. J.; SEITZ, G. G.; WEAVER, K. D.; ORGIL, A.; FANEROS, G.; HAMILTON, J. C.; GOETZ, C. Geologic and paleoseismic study of the Lavic Lake fault at Lavic Lake Playa, Mojave Desert, Southern California. **Bulletin of the Seismological Society of America**, v. 92, n. 4, p. 1577–1591, 2002.

SILVA, M.; MAURO, R.; MOURÃO, G.; COUTINHO, M. Distribuição e quantificação de classes de vegetação do Pantanal através de levantamento aéreo. **Revista Brasileira de Botânica**, 2000.

SILVA, J. D. S. V. Da; ABDON, M. D. M. Delimitação do Pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1703–1711, 1998.

SOARES, C. T. C. **Geobotânica por sensoriamento remoto em florestas de restinga sobre sedimentos holocênicos, iguape-sp**. 2012. INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS, 2012.

SOARES, P. C.; ASSINE, M. L.; RABELO, L. The Pantanal Basin: Recent Tectonics, Relationships to the Transbrasiliano Lineament. **IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 459–469, 1998.

TAN, B.; MORISETTE, J. T. J.; WOLFE, E.; GAO, F.; EDERER, G. A.; NIGHTINGALE, J.; PEDELTY, J. A.; WOLFE, R.; GAO, F. Vegetation phenology metrics derived from temporally smoothed and gap-filled MODIS data. **IGARSS**

2008, p. 593–596, 2008.

TELBISZ, T.; KOVACS, G.; SZEKELY, B.; SZABO, J.; KOVÁCS, G.; SZÉKELY, B.; KOVACS, G.; SZEKELY, B.; SZABO, J. Topographic swath profile analysis: a generalization and sensitivity evaluation of a digital terrain analysis tool. **Zeitschrift Fur Geomorphologie**, v. 57, n. 4, p. 485–513, 2013.

TELES, T. S. **Relações de métricas fenológicas EVI/MODIS do TIMESAT com sombreamento e padrões atípicos de temperatura em floresta estacional decidual**. INPE, 2015.

TOWNSHEND, J. R. G.; GOFF, T. E.; TUCKER, C. J. Multitemporal Dimensionality of Images of Normalized Difference Vegetation Index at Continental Scales. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. GE-23, n. 6, p. 888–895, 1985.

USSAMI, N.; SHIRAIWA, S.; DOMINGUEZ, J. M. L. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil. **Tectonics**, v. 18, n. 1, p. 25–39, 1999.

USTIN, S. L.; SMITH, M. O.; JACQUEMOUD, S.; VERSTRAETE, M. M.; GOVAERTS, Y. Geobotany: Vegetation mapping for Earth sciences. **Remote sensing for the earth sciences: Manual of remote sensing**, v. 3, p. 189–233, 1999.

WARREN, L. V.; QUAGLIO, F.; SIMÕES, M. G.; FREITAS, B. T.; ASSINE, M. L.; RICCOMINI, C. Underneath the pantanal wetland: a deep-time history of Gondwana assembly, climate change, and the dawn of metazoan life. In: **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer, 2015. p. 1–21.

WHITE, M. A.; THORNTON, P. E.; RUNNING, S. W. A continental phenology model for monitoring vegetation responses to interannual climatic variability. **Global biogeochemical cycles**, v. 11, n. 2, p. 217–234, 1997.

WWF- BRASIL. Monitoring alterations in vegetation cover and land use in the upper Paraguay river basin: Brazilian portion: period of analysis:2002 to 2008. 2009.

XIAO, X.; HAGEN, S.; ZHANG, Q.; KELLER, M.; MOORE, B. Detecting leaf

phenology of seasonally moist tropical forests in South America with multi-temporal MODIS images. **Remote Sensing of Environment**, v. 103, n. 4, p. 465–473, 2006.

ZHANG, X.; FRIEDL, M. A.; SCHAAF, C. B.; STRAHLER, A. H. Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid-and high latitudes inferred from MODIS data. **Global Change Biology**, v. 10, n. 7, p. 1133–1145, 2004.

ZHANG, X.; FRIEDL, M. A.; SCHAAF, C. B.; STRAHLER, A. H.; HODGES, J. C. F.; GAO, F.; REED, B. C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, n. 3, p. 471–475, 2003.

ANEXO 1 - Lista de espécies encontradas

Nome Científico	Nome Comum
<i>Acrocomia aculeata</i>	Bocaiuva
<i>Albizia inundata</i>	
<i>Alibertia edulis</i>	Marmelada-de-bola
<i>Amaioua guianensis</i>	Marmelada
<i>Andira inermis</i>	Morcegueiro
<i>Annona sylvatica</i>	Embira-vermelha
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo
<i>Attalea phalerata</i>	Acuri
<i>Bauhinia rufa</i>	Mororó
<i>Buchenavia tomentosa</i>	Tarumarana
<i>Calophyllum Brasiliense</i>	Guanandi
<i>Caryocar Brasiliense</i>	Pequi
<i>Casearia sylvestris</i>	Guaçatonga
<i>Celtis pubescens</i>	Taleira
<i>Chrysophyllum marginatum</i>	Leiteirinho
<i>Coccoloba mollis</i>	Pajeú
<i>Copaifera martii</i>	Guaranazinho
<i>Copernicia alba</i>	Carandá
<i>Cordia glabrata</i>	Louro
<i>Cordia sessilis</i>	Marmelo
<i>Couepia uiti</i>	Pateiro
<i>Curatella americana</i>	Lixeira
<i>Dilodendron bipinnatum</i>	Fede-fede
<i>Diospyros hispida</i>	Fruta-de-boi
<i>Dipteryx alata</i>	Cumbaru
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Ximbuva
<i>Erythroxylum anguifugum</i>	Pimenteirinha
<i>Ficus calyptroceras</i>	Figueira
<i>Ficus luschnathiana</i>	Figueira-de-folha-miúda
<i>Garcinia Brasiliensis</i>	Acupari
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Piúva-de-folha-larga
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Piúva

<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá
<i>Indeterminada 1</i>	
<i>Indeterminada 2</i>	
<i>Inga laurina</i>	Ingá
<i>Inga vera subsp. affinis</i>	Ingá
<i>Licania minutiflora</i>	Cedro-d'água
<i>Licania parvifolia</i>	Pimenteira
<i>Lonchocarpus sericeus</i>	
<i>Luehea grandiflora</i>	Açoita-cavalo
<i>Maclura tinctoria</i>	Taiuva
<i>Magonia pubescens</i>	Tingui
<i>Mouriri elliptica</i>	Coroa
<i>Mouriri guianensis</i>	Roncador
<i>Ocotea velloziana</i>	Canela
<i>Phyllostylon cf. rhamnoides</i>	Cabrito
<i>Piper aduncum</i>	Pimenteira-longa
<i>Prockia crucis</i>	Guaí
<i>Protium heptaphyllum</i>	Amescla
<i>Pseudobombax marginatum</i>	Imbiruçu
<i>Psidium guineense</i>	Araçá
<i>Pterocarpus rohrii</i>	Ingá-bravo
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	Cabrito
<i>Sapindus saponaria</i>	Saboneteira
<i>Sapium obovatum</i>	Figueirinha
<i>Sorocea sprucei subsp. saxicola</i>	Figueirinha-do-Pantanal
<i>Sterculia apetala</i>	Manduvi
<i>Swartzia jorori</i>	Justa-conta
<i>Tabebuia aurea</i>	Paratudo
<i>Terminalia argentea</i>	Capitão
<i>Trema micrantha</i>	Chico-magro
<i>Triplaris gardneriana</i>	Novato
<i>Unonopsis guatterioides</i>	Ata-do-igapó
<i>Vitex cymosa</i>	Tarumã
<i>Vochysia divergens</i>	Cambará

<i>Xylopi</i> <i>aromatica</i>	Pindaíba
<i>Zanthoxylum rigidum</i> subsp. <i>hasslerianum</i>	Mamica-de-porca

ANEXO 2 - Lista de espécies em cada parcela

Parcela 1	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Attalea phalerata</i>	Acuri
<i>Dipteryx alata</i>	Cumbaru
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo
<i>Vitex cymosa</i>	Tarumã
<i>Dilodendron bipinnatum</i>	Fede-fede
<i>Curatella americana</i>	Lixeira
<i>Licania minutiflora</i>	Cedro-d'água
<i>Tabebuia aurea</i>	Paratudo
<i>Diospyros hispida</i>	Fruta-de-boi
Parcela 2	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Attalea phalerata</i>	Acuri
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo
<i>Mouriri guianensis</i>	Roncador
<i>Vitex cymosa</i>	Tarumã
<i>Ficus calyptroceras</i>	Figueira
<i>Ficus luschnathiana</i>	Figueira-de-folha-miúda
<i>Garcinia Brasiliensis</i>	Acupari
<i>Cordia glabrata</i>	Louro
<i>Inga laurina</i>	Ingá
Parcela 3	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Attalea phalerata</i>	Acuri
<i>Dipteryx alata</i>	Cumbaru
<i>Sterculia apetala</i>	Manduvi
<i>Vitex cymosa</i>	Tarumã
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Piúva-de-folha-larga
<i>Swartzia jorori</i>	Justa-conta
<i>Cordia glabrata</i>	Louro
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba
Parcela 4	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Attalea phalerata</i>	Acuri
<i>Dipteryx alata</i>	Cumbaru
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Piúva-de-folha-larga
<i>Swartzia jorori</i>	Justa-conta
<i>Ficus luschnathiana</i>	Figueira-de-folha-miúda
<i>Dilodendron bipinnatum</i>	Fede-fede
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	Cabrito
<i>Acrocomia aculeata</i>	Bocaiuva
<i>Protium heptaphyllum</i>	Amescla
<i>Curatella americana</i>	Lixeira
<i>Licania minutiflora</i>	Cedro-d'água
<i>Pseudobombax marginatum</i>	Imbiruçu
<i>Buchenavia tomentosa</i>	Tarumarana

<i>Luehea grandiflora</i>	Açoita-cavalo
<i>Alibertia edulis</i>	Marmelada-de-bola
<i>Xylopia aromatica</i>	Pindaíba
<i>Chrysophyllum marginatum</i>	Leiteirinho
<i>Psidium guineense</i>	Araçá
Parcela 5	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Albizia inundata</i>	
<i>Mouriri guianensis</i>	Roncador
<i>Couepia uiti</i>	Pateiro
<i>Triplaris gardneriana</i>	Novato
<i>Ocotea velloziana</i>	Canela
<i>Sapium obovatum</i>	Figueirinha
<i>Inga vera subsp. affinis</i>	Ingá
<i>Prockia crucis</i>	Guaí
<i>Indeterminada 1</i>	
Parcela 6	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Attalea phalerata</i>	Acuri
<i>Sterculia apetala</i>	Manduvi
<i>Vitex cymosa</i>	Tarumã
<i>Ficus calyptroceras</i>	Figueira
<i>Dilodendron bipinnatum</i>	Fede-fede
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	Cabrito
<i>Triplaris gardneriana</i>	Novato
<i>Unonopsis guatterioides</i>	Ata-do-igapó
<i>Piper aduncum</i>	Pimenteira-longa
Parcela 7	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Licania parvifolia</i>	Pimenteira
<i>Albizia inundata</i>	
<i>Mouriri guianensis</i>	Roncador
<i>Amaioua guianensis</i>	Marmelada
<i>Garcinia Brasiliensis</i>	Acupari
<i>Coccoloba mollis</i>	Pajeú
<i>Unonopsis guatterioides</i>	Ata-do-igapó
<i>Indeterminada 2</i>	
<i>Erythroxylum anguifugum</i>	Pimenteirinha
Parcela 8	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Attalea phalerata</i>	Acuri
<i>Albizia inundata</i>	
<i>Ficus luschnathiana</i>	Figueira-de-folha-miúda
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	Cabrito
<i>Sapindus saponaria</i>	Saboneteira
<i>Triplaris gardneriana</i>	Novato
<i>Annona sylvatica</i>	Embira-vermelha
Parcela 9	

Nome Científico	Nome Comum
<i>Attalea phalerata</i>	Acuri
<i>Mouriri guianensis</i>	Roncador
<i>Vitex cymosa</i>	Tarumã
<i>Couepia uiti</i>	Pateiro
<i>Amaioua guianensis</i>	Marmelada
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Ximbuva
<i>Triplaris gardneriana</i>	Novato
<i>Garcinia Brasiliensis</i>	Acupari
<i>Ocotea velloziana</i>	Canela
<i>Coccoloba mollis</i>	Pajeú
<i>Inga laurina</i>	Ingá
<i>Inga vera subsp. affinis</i>	Ingá
<i>Copernicia alba</i>	Carandá
<i>Trema micrantha</i>	Chico-magro
<i>Maclura tinctoria</i>	Taiuva
Parcela 10	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Dipteryx alata</i>	Cumbaru
<i>Sterculia apetala</i>	Manduvi
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo
<i>Swartzia jorori</i>	Justa-conta
<i>Acrocomia aculeata</i>	Bocaiuva
<i>Licania minutiflora</i>	Cedro-d'água
Parcela 11	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Dipteryx alata</i>	Cumbaru
<i>Sterculia apetala</i>	Manduvi
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo
<i>Ficus calyptroceras</i>	Figueira
<i>Swartzia jorori</i>	Justa-conta
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Ximbuva
<i>Dilodendron bipinnatum</i>	Fede-fede
<i>Acrocomia aculeata</i>	Bocaiuva
<i>Coccoloba mollis</i>	Pajeú
<i>Alibertia edulis</i>	Marmelada-de-bola
<i>Casearia sylvestris</i>	Guaçatonga
<i>Zanthoxylum rigidum subsp. hasslerianum</i>	Mamica-de-porca
Parcela 12	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Licania parvifolia</i>	Pimenteira
<i>Albizia inundata</i>	
<i>Mouriri guianensis</i>	Roncador
<i>Couepia uiti</i>	Pateiro
<i>Amaioua guianensis</i>	Marmelada
<i>Andira inermis</i>	Morcegueiro
Parcela 13	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Licania parvifolia</i>	Pimenteira

<i>Vochysia divergens</i>	Cambará
<i>Albizia inundata</i>	
<i>Mouriri guianensis</i>	Roncador
<i>Amaioua guianensis</i>	Marmelada
<i>Pterocarpus rohrii</i>	Ingá-bravo
<i>Lonchocarpus sericeus</i>	
<i>Andira inermis</i>	Morcegueiro
<i>Mouriri elliptica</i>	Coroa
<i>Calophyllum Brasiliense</i>	Guanandi
<i>Parcela 14</i>	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Dipteryx alata</i>	Cumbaru
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Piúva-de-folha-larga
<i>Acrocomia aculeata</i>	Bocaiuva
<i>Protium heptaphyllum</i>	Amescla
<i>Curatella americana</i>	Lixeira
<i>Cordia glabrata</i>	Louro
<i>Magonia pubescens</i>	Tingui
<i>Copaifera martii</i>	Guaranazinho
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá
<i>Buchenavia tomentosa</i>	Tarumarana
<i>Cordia sessilis</i>	Marmelo
<i>Luehea grandiflora</i>	Açoita-cavalo
<i>Bauhinia rufa</i>	Mororó
<i>Caryocar Brasiliense</i>	Pequi
<i>Sorocea sprucei</i> subsp. <i>saxicola</i>	Figueirinha-do-Pantanal
<i>Terminalia argentea</i>	Capitão
<i>Celtis pubescens</i>	Taleira
<i>Parcela 15</i>	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Dipteryx alata</i>	Cumbaru
<i>Astronium fraxinifolium</i>	Gonçalo
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Piúva-de-folha-larga
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	Cabrito
<i>Acrocomia aculeata</i>	Bocaiuva
<i>Protium heptaphyllum</i>	Amescla
<i>Curatella americana</i>	Lixeira
<i>Licania minutiflora</i>	Cedro-d'água
<i>Copaifera martii</i>	Guaranazinho
<i>Ocotea velloziana</i>	Canela
<i>Andira inermis</i>	Morcegueiro
<i>Mouriri elliptica</i>	Coroa
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá
<i>Cordia sessilis</i>	Marmelo
<i>Phyllostylon</i> cf. <i>ramnoides</i>	
<i>Parcela 16</i>	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Licania parvifolia</i>	Pimenteira
<i>Vochysia divergens</i>	Cambará

<i>Albizia inundata</i>	
<i>Mouriri guianensis</i>	Roncador
<i>Couepia uiti</i>	Pateiro
<i>Amaioua guianensis</i>	Marmelada
<i>Pterocarpus rohrii</i>	Ingá-bravo
<i>Lonchocarpus sericeus</i>	
<i>Mouriri elliptica</i>	Coroa
<i>Parcela 17</i>	
Nome Científico	Nome Comum
<i>Attalea phalerata</i>	Acuri
<i>Sterculia apetala</i>	Manduvi
<i>Vitex cymosa</i>	Tarumã
<i>Ficus calyptroceras</i>	Figueira
<i>Handroanthus heptaphyllus</i>	Piúva-de-folha-larga
<i>Ficus luschnathiana</i>	Figueira-de-folha-miúda
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i>	Cabrito
<i>Handroanthus impetiginosus</i>	Piúva

**ANEXO 3 - Lineamento de vegetação de magnitude regional no
Norte do Pantanal: variabilidade florística e fenológica em planície de
sedimentos quaternários**

Lineamento de vegetação de magnitude regional no Norte do Pantanal: variabilidade florística e fenológica em planície de sedimentos quaternários

Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida¹

Cibele Hummel do Amaral²

Moreno Botelho³

Eduardo Francisco Ribeiro¹

Natasha Costa Penatti¹

¹Universidade de São Paulo - USP/IGc

Rua do Lago, 562 – 05508-080 – São Paulo - SP, Brasil
talmeida@usp.br, {eduardofribeiro, nat.bio}@gmail.com

²Universidade Federal de Viçosa - UFV/DEF

36570-900 - Viçosa - MG, Brasil
chamaral@ufv.br

³Engenheiro Florestal autônomo

36570-000 - Viçosa - MG, Brasil
morenobot@gmail.com

Abstract. The Pantanal is the largest tropical wetland and is located in the center of South America. It corresponds to an active sedimentary basin of Quaternary age with an area about 160,000 km². Despite the monotony of terrigenous sediments, deposited by several megafans, its vegetation present high variability. This variability is a result of many factors: the region being surrounded by four biomes (Brazilian savanna, Chaco, Amazon Rainforest and Atlantic Forest), the flood pulse, the geological history, expressed by the variability in the sediment source areas and neotectonics and the flatness of the area. Small variations in relief, between decimeters to a few meters, imply in changes in floods duration and intensity. Thus faults with small vertical reject can generate vegetation lineaments. This paper discusses the characterization of the most notable of these lineaments in the Pantanal, a feature with NE direction and about 100 km long, considering the similarity between the sample plots (using the Jaccard index - Jacc) and the bulk of plant phenological variability obtained remotely by MODIS NDVI time-series. At the NW side of the studied lineament the vegetation is evergreen, while on the SE side the vegetation becomes dry during the long and severe annual droughts. Considering the Jof the plots, we can conclude that there are two regional strata. One at NW region of the lineament (Seasonally Flooded Evergreen Forests), and a second stratum, at SE mainly, characterized by Cordilheiras (paleolevees) and Cerradões. This stratum has various degrees of similarity between plots. The strata presented high floristic dissimilarity between them, what is clearly seen by their regional phenological behavior. Considering that is a flat region without critical variations of soils as well as the magnitude of the lineament, the results are really impressive.

Palavras-chave: Pantanal, vegetation lineament, phytosociology multitemporal remote sensing, Pantanal, lineamento de vegetação, fitossociologia, sensoriamento remoto multitemporal.

1.Introdução

O Pantanal é uma bacia sedimentar ativa, formada no Plioceno Superior/ Pleistoceno Inferior (Ussami et al., 1999) com história de preenchimento mais complexa que se imagina para uma bacia quaternária tão distante de bordas ativas da placa Sul-Americana: a tectônica desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da paisagem, na delimitação de lobos deposicionais e das principais drenagens (Assine e Soares 2004, Almeida et al., 2015; Assine et al., 2016). Seu preenchimento vem sendo feito por diversos megaleques, ambientes de sedimentação que se caracterizam, no conceito de Leier et al. (2005), por extensos sistemas distributários com áreas de $10^3 - 10^5 \text{ km}^2$ e baixo gradiente ($0,1^\circ$ a $0,01^\circ$). Em função disto o Pantanal é uma área muito plana, com uma variação de menos de uma centena de metros na altitude distribuída na imensidão de em torno de 180.000 km^2 de megaleques e planícies fluviais, dos quais 153.000 km^2 no Brasil (Pott e Silva, 2015).

Essa condição de imensa planície sugere monotonia ambiental. E ao contrário, a grande variabilidade do Pantanal ensejou ao menos 12 estudos, desde a década de 1970, para discutir quais e quantos são os “pantanais”, variando entre seis e 25 sub-regiões com características peculiares, sendo o trabalho de Silva e Abdon (1998) o mais adotado, com 11 sub-regiões. Essas subdivisões consideraram haver diferentes padrões de geomorfologia, hidrologia, flúvio-morfologia, pedologia, regime e dinâmica de inundação, tradições locais, geopolítica e, naturalmente, coberturas vegetais. Já Penatti (2014) discute a variabilidade fenológica da vegetação pantaneira, identificando sete comportamentos fenológicos distintos, de ocorrência descontínua. Que processos geraram tal diversidade? A localização, entre quatro biomas (Cerrado, Chaco, Floresta Amazônica e Mata Atlântica), o clima de savana, entre úmido e semiárido e sazonalmente muito marcado, com longas secas, e finalmente a planura. Esta fornece a pequenas variações no relevo, de decímetros a poucos metros, uma importância enorme na estrutura das coberturas vegetais e nas espécies presentes por afetar a presença, a intensidade e a duração das inundações sazonais. De acordo com Pott e Silva (2015) a inundação é o fator primordial, pois a vegetação pode ser diferente no mesmo solo de acordo com o relevo, com seu padrão espacial sendo um "caos auto-organizado", com vegetação florestal nos terrenos mais preservados das inundações, savanas de gramíneas nas áreas sazonalmente inundadas e vegetação aquática nos corpos d'água.

Pouco se cita ser a geologia responsável por muito da variabilidade ambiental do Pantanal: as pequenas variações no relevo são função dos processos de sedimentação/erosão ou da reativação de estruturas do embasamento da bacia, gerando falhas com componente vertical de rejeito. Apenas os murundus, de gênese ainda incerta, podem ser biogênicos. Na revisão sobre a Geologia e a Geomorfologia do Pantanal Assine et al. (2016) citam a presença de vários sistemas de falhas ativas cortando aquela bacia, sendo particularmente importante o de direção NE-SW, supostamente associado com o Lineamento Transbrasiliano, uma sutura geotectônica descrita na área por Soares et al. (1988). Segundo Assine et al. (2016) as falhas deste sistema levam ao abatimento dos blocos a NW das falhas, expressas em imagens de sensoriamento remoto como lineamentos, controlando áreas de maior ou menor subsidência. Expõem ainda que o mais notável exemplo destas estruturas ocorre no norte do Pantanal, com uma falha que separa a noroeste uma área de subsidência mais intensa e irrigada pelos rios perenes Cuiabá, São Lourenço e Paraguai enquanto a sudeste há apenas cursos d'água temporários associados a antigas drenagens distributárias do megaleque do rio Taquari.

De acordo com o mapa de cobertura vegetal e uso do solo apresentado em Pott e Silva (2015) há na área de estudo duas unidades, floresta de espécies pioneiras, incluindo cambará (*Vochysia divergens*) e Cerrado, incluindo cerradão, savanas inundáveis com

monodominância e savanas de gramíneas. A variabilidade da vegetação na área de estudo é, como em todo o Pantanal, regida essencialmente pela água, em função de pequenas variações no relevo, de dimensão decimétrica a métrica. Ali, entretanto, ocorre um bem marcado lineamento de vegetação que se estende por uma centena de quilômetros que ordena a vegetação independentemente da distância da principal drenagem local, o rio São Lourenço. Este lineamento é a expressão em imagens de sensoriamento remoto da falha que separa o norte do Pantanal, uma área deprimida topograficamente em relação à porção central do Pantanal, associada ao megaleque do rio Taquari. Embora não citado como tal, este lineamento aparece nos documentos que cartografaram a vegetação da área, tanto no de Pott e Silva acima citado como nos de WWF-Brasil (2009) e Evans et al. (2014), com o primeiro citando vegetação arbórea com formações pioneiras de cambará, ipê amarelo (*Tabebuia aurea*) e carandá (*Copernicia alba*) e o segundo composto por savanas arbóreas abertas com frequente monodominância de pombeira (*Cyatharexylum myrianthum*) e cambará. Considerando a variabilidade espaço-temporal da vegetação pantaneira Almeida et al. (2015) destacaram o limite linear entre vegetação com senescência tardia ou inexistente e as savanas afetadas precocemente pelas estiagens, considerando aí existir uma falha com elevação do bloco a sudeste.

Este trabalho, utilizando dados multitemporais de sensoriamento remoto e dados de campo na porção centro-norte do Pantanal (Figura 1), discute a relação da similaridade florística da vegetação florestal com a descontinuidade ambiental dada pelo lineamento bem como o comportamento do verdor da vegetação da área em diferentes fases do ciclo hidrológico. O foco da pesquisa, portanto, é procurar entender este lineamento de vegetação, de aparente origem geológica e com mais de 100 km de extensão.

Figura 1. A área de estudo (retângulo amarelo) em relação ao Pantanal e à Bacia do Alto Paraguai (BAP) tendo como fundo imagem SRTM. (Modificado de Almeida et al., 2015).

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Sensoriamento Remoto

Para escolher momentos representativos do ciclo hidrológico da área foram utilizados dados do sistema sensor TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), com resolução espacial de 0,25 ° x 0,25°. Foram utilizados os dados do produto 3B42 para obter a precipitação mensal e, a partir de uma série de 16 anos (1998-2014), foi obtida a estimativa de precipitação média mensal, apresentada em diagrama. Em função da

posição do lineamento sob estudo foram selecionados cinco píxels para representar a estimativa de precipitação média no bloco a NW do lineamento e cinco píxels para o bloco SE.

Para analisar a variabilidade fenológica regional foram utilizados dados MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), especificamente o índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) do produto MOD13Q1 que fornece imagens compostas de 16 dias (23 imagens por ano) com resolução espacial de 250m. A partir de uma série temporal de NDVI (2001-2015) filtrada pelo algoritmo Savitsky-Golay (Savitzky e Golay, 1964) no software TIMESAT (Chen et al., 2004; Jönsson e Eklundh, 2002, 2004) obteve-se uma série média, com 23 imagens médias. Duas fontes de informação foram utilizadas para selecionar os três DOYs (Day of the Year – dia do ano) para obter uma composição colorida que mostre, grosso modo, a variabilidade fenológica da área: a estimativa de precipitação mensal média (TRMM), e, a partir da série anual média de NDVIs de quinze anos, a correlação obtida entre a imagem de do DOY 001 e os seguintes, até o DOY 353. Naturalmente o que impera nessa representação gráfica é o comportamento cíclico do verdor onde a correlação cai até o ponto máximo da senescência pela estiagem e tornando a subir com o retorno das chuvas. Assim feita a escolha das imagens o triplete resultante será rico em informação fenológica e auxiliará no entendimento da espacialização da variabilidade das coberturas vegetais no entorno do lineamento.

Para a escolha das parcelas a serem visitadas no trabalho de campo foi utilizado um par de imagens da série Landsat (órbita e ponto 226/072), uma do sensor TM (de 08/09/1986) e uma do sensor OLI (de 01/09/2016). Foram selecionados locais em que nas duas imagens houvesse vegetação fechada, o que, na área, refere-se a coberturas florestais, permitindo mostrar parcelas em florestas com mais de 30 anos, em avançado estágio de regeneração.

Para a orientação em campo foram utilizadas ainda imagens Pleiades e RapidEye, com estas últimas auxiliando ainda na escolha de detalhe da localização das parcelas.

2.2 Trabalhos em campo

Dezessete parcelas de 20 x 30 m foram alocadas na área de estudo, sendo a amostragem classificada como estratificada seletiva. Suas disposições foram definidas considerando dois estratos com padrões fenológicos distintos, um a NW do lineamento e outro a SE, e também a resposta espectral da vegetação em 1986 e 2016 (TM e OLI), a fim de selecionar fragmentos florestais antigos. Cada parcela foi inicialmente percorrida, com anotação das espécies presentes nos estratos herbáceo e arbustivo-arbóreo. Posteriormente, todos os indivíduos com diâmetro à altura do peito (DAP) maior ou igual a 5 cm foram taxonomicamente identificados e dados, como número de fustes, DAP e altura total, foram coletados. As medidas de altura total dos fustes foram coletadas com hipsômetro Vertex IV (Haglof Inc. – Madison, MS, EUA). Galhos, folhas e órgãos reprodutivos foram, sempre que necessário, fotografados com zoom, para posterior identificação junto a livros, periódicos e herbários virtuais.

3. Resultados e Discussão

A série TRMM de 16 anos utilizada mostra que a estimativa de pluviosidade mensal para a área de estudo tem um comportamento semelhante ao do Pantanal como um todo, com as chuvas se concentrando entre outubro e abril e a seca mais intensa de junho a agosto (Figura 2A). Índices de vegetação tem grande correlação com a chuva, mas a resposta da vegetação não é imediata e tão pouco homogênea. Para considerar a dinâmica

sazonal da vegetação local obteve-se a correlação entre a primeira imagem NDVI (DOY 001) com as demais 22 imagens do ciclo anual (Figura 2B).

A partir dos dados da Figura 2 foram escolhidos os DOYs de imagens MODIS-NDVI médias de série de 15 anos para compor a imagem indicativa do essencial da variabilidade fenológica da vegetação local. Considerou-se, assim, a imagem do DOY 97 (07 de abril), expressando o verdor máximo; para o momento de maior senescência da vegetação, após três meses de pluviosidade mensal da ordem de 20mm foi selecionado o DOY 241 (29 de agosto) e, como indicação da rebrota precoce pelo retorno da chuva, o DOY 289 (6 de outubro) (Figura 3).

Figura 2. Em A, estimativa de pluviosidade mensal a partir de dados TRMM na área de estudo (média 2000-2015). Em B correlação do DOY 001 da série média de NDVI/MODIS com os DOYs seguintes da série anual média. Os pontos em vermelho indicam as imagens selecionadas na indicação da variabilidade fenológica.

Figura 3. Composição colorida multitemporal de imagens NDVI/MODIS da série anual média (2001-2015) em RGB: 07 de abril, 29 de agosto e 16 de outubro. Observar como o lineamento de vegetação está bem marcado.

A Figura 3 permite uma interpretação simples, com o branco ou tons claros indicando senescência discreta a ausente, pela dominância de espécies perenifólias; o magenta claro indica vegetação senescente no auge da estiagem, mas com rebrota rápida, mantendo-se verde ao longo da estação chuvosa; áreas em ciano foram interpretadas como inundadas em abril, secas em setembro e verdes em outubro e em vermelho áreas com rebrota tardia (seca em setembro e outubro); em tons de verde, áreas fortemente sujeitas a inundação, mas não inundadas em setembro, quando se encontram com vegetação verde. Em negro e tonalidades escuras, baixos teores em clorofila e/ou área foliar.

Foram amostrados 621 indivíduos arbóreos distribuídos em 69 espécies, 68 gêneros e 32 famílias botânicas em 17 parcelas de 20 x 30 m. A disposição das parcelas procurou atender o essencial da variabilidade das florestas locais, considerando as possibilidades de acesso e a posição relativa ao lineamento em estudo (Figura 4). Em função da similaridade, indicada pelo Índice de Jaccard (Jacc), foram definidos dois estratos de florestas: um a noroeste – NW (Florestas Inundáveis) e um a sudeste – SE do lineamento e em pontos isolados a NW (Cerradões e Cordilheiras), como previsto pela variação fenológica observada nas imagens. É importante realçar a condição *sine qua non* de estar em cordilheiras (porções de terreno alongadas e curvilíneas mais elevadas que o terreno adjacente e que atuam como diques das áreas sujeitas a alagamentos sazonais), para que a vegetação a NW se mostre similar àquela a SE do lineamento. A presença dessas cordilheiras pode ser observada na análise fenológica, quando em maior detalhe, onde feições alongadas e curvilíneas demonstram apresentar senescência em 29 de agosto (Figura 3), diferentemente da vegetação que a cerca. Contudo, devido a sua largura e baixa presença na paisagem, as cordilheiras a NW não apresentam significância regional, principalmente, ao serem analisadas por sensores de cobertura global e baixa resolução espacial como o MODIS.

Figura 4. Distribuição das dezessete parcelas de amostragem da vegetação, estratificadas por seus índices de similaridade de Jaccard, sobre composição colorida em cores reais de mosaico de imagens RapidEye, da área de estudo próxima à divisa noroeste do Estado Mato Grosso do Sul com o Estado de Mato Grosso.

Houve também uma única parcela (P09) alocada a SE, nas proximidades do lineamento, e que representa o ecótono entre os dois estratos: Florestas Inundáveis e Cerradões e Cordilheiras. P09 apresentou alto Jt tanto com a vegetação compreendida pelo estrato de Cerradões e Cordilheiras (P02, $J = 0,26$), quanto pelo estrato de Florestas Inundáveis (P05, $0,26$). As parcelas com maior J foram P13 e P16 ($0,73$); ambas estão localizadas na porção imediatamente a NW do lineamento e têm o dossel com elevada dominância de *Vochysia divergens* e *Licania parvifolia*. O J médio entre as florestas inundáveis é de $0,33$, indicando alta similaridade florística entre as florestas inundáveis dispostas a NW ao longo do lineamento. Quando analisamos o estrato dos Cerradões e

Cordilheiras é possível verificar uma maior variabilidade florística entre parcelas. Destacam-se como fortemente similares ($J_{\text{médio}} = 0,32$) os Cerradões amostrados nas parcelas 04, 14 e 15a SE, mais distantes do lineamento (até ~ 20 km), e que, com evidente formação de murundus (elevações circulares no terreno, com poucas dezenas de diâmetro), não apresentam em sua florística *Attalea phalerata*. Essa é a espécie mais abundante no conjunto de parcelas ($n = 68$) e, evidentemente, em todas as cordilheiras, a SE ou NW do lineamento. O compartilhamento dessas espécies e de outras, entre as cordilheiras e a maioria dos cerradões – esses sem desnível de terreno aparente, com forma variada e mais próximos ao lineamento, não permitiram a dissociação florística dessas formações.

Considerando a comparação entre as parcelas dos dois extremos, Florestas Inundáveis (1) e Cerradões e Cordilheiras (2), o valor máximo de J encontrado foi de 0,14, muito distante do mínimo para serem consideradas florestas similares ($J \geq 0,25$) e, em doze casos, o J foi de zero (não havendo compartilhamento de nenhuma espécie pelo par de parcelas analisadas). A importância da distância na redução da similaridade foi demonstrada pelos valores máximos do Jacc: nas duas parcelas de Cerradão mais distantes (P14 e P15) o valor máximo daquele índice foi de 0,09 em relação às cinco parcelas de floresta inundável. Observe-se, neste sentido, que o grupo de parcelas de Cerradões e Cordilheiras mais próximo ao lineamento apresenta maior similaridade florística com as parcelas de floresta inundável, como esperado pela proximidade geográfica.

Considerando-se que todas as parcelas amostraram coberturas florestais antigas (com no mínimo 30 anos), fica evidente a origem da dissimilaridade florística e fenológica associada ao lineamento. Considerando-se ainda o relevo plano e a ausência de diversidade geológica no substrato conclui-se que este lineamento esteja associado a uma falha com pequeno rejeito vertical e seja um notável exemplo de como pequenas variações no relevo implicam em dissimilaridade florística e fenológica no Pantanal. Considere-se, por fim, que o lineamento estudado apresenta uma suave inflexão e segue por mais 120 km e está na continuidade a SW da zona de falhas General Carneiro, feição do Neoproterozoico associada ao Lineamento Transbrasiliano e estudada por aeromagnetometria em Curto et al. (2014). Naquele trabalho descreve-se a atividade daquela estrutura durante a deposição da Bacia do Paraná e sugere-se reativação atual, pois há sismos alinhados à feição. É relevante considerar que esta falha, que tem suas origens no Proterozoico e esteve ativa no Paleozoico e Mesozoico, esteja influenciando a diversidade das coberturas florestais do Pantanal.

4. Conclusão

A abordagem simplificada da fenologia da superfície terrestre com dados temporais NDVI (MODIS) e o levantamento fitossociológico de campo mostraram resultados compatíveis entre si demonstrando haver duas coberturas vegetais distintas e adaptadas à variada disponibilidade hídrica nos períodos de estiagem dos dois lados do lineamento em estudo. Excluem-se as cordilheiras (porções elevadas do terreno, curvilíneas e alongadas, que atuam como diques marginais das áreas com alagamento sazonal) que podem ocorrer em ambos os lados da falha e que apresentam elevada similaridade florística e padrão fenológico. A causa para a brusca variação florística entre os estratos de Florestas Inundáveis (1) e Cordilheiras e Cerradões (2), limitada linearmente por em torno de 100 km, quando analisada regionalmente, e sem variação significativa nos solos, indica a presença de uma falha de alto ângulo com rejeito vertical que abateu o bloco a noroeste. O terreno plano, com variação topográfica não observável em caminhamentos,

sugere um rejeito muito discreto e não um posterior atulhamento preferencial dos terrenos no bloco abatido. Sugere-se aqui, portanto, que o lineamento de vegetação estudado é regido pela água, o que se manifesta fenológica e fitossociologicamente.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Angelina Barros Baruki e Sérgio Baruki, proprietários da fazenda Recreio, não apenas pela acolhida mais que gentil da equipe que foi ao campo como pelo enorme apoio dado na infraestrutura para deslocamentos na área, com acesso facilitado em diversas fazendas vizinhas, onde sempre fomos bem recebidos. Sem esse apoio teria sido impossível realizar tantas parcelas em tão pouco tempo. Os autores agradecem ainda à Airbus Defense & Space pela cessão, sem custos, de um segmento de imagem Pleiades e, finalmente, ao Ministério do Meio Ambiente pela cessão, também sem custos, de diversas cenas de imagens do sensor RapidEye. Estas imagens auxiliaram muito na localização em campo e as RapidEye foram além, ajudando visualizar a diversidade das coberturas vegetais. Agradecem finalmente a Cibele Hummel do Amaral e Moreno Botelho, que custearam parte importante do trabalho de campo e adquiriram software para tratar dados botânicos. Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida agradece ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa, Processo 302925/20155, a qual custeou a maior parte dos gastos com a viagem de campo e análise de amostras.

Referências Bibliográficas

Almeida, T. I. R., Penatti, N. C., Ferreira, L. G., Arantes, A. E., & do Amaral, C. H. Principal component analysis applied to a time series of MODIS images: the spatio-temporal variability of the Pantanal wetland, Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, v. 23, n. 4, p. 737–748, 2015.

Assine, M. L., & Soares, P. C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v. 114, n.1, p. 23–34, 2004.

Assine, M. L.; Merino, E. R.; Pupim, F. N.; Warren, L. V.; Guerreiro, R. L.; McGlue, M. M. Geology and geomorphology of the Pantanal basin. In: Bergier, I.; Assine M.L. (Orgs.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer International Publishing, 2016, p.23–50.

Chen, J., Jönsson, P., Tamura, M., & Gu, Z. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. **Remote sensing of Environment**, v. 91, n. 3, p. 332–344, 2004.

Curto, J. B., Vidotti, R. M., Fuck, R. A., Blakely, R. J., Alvarenga, C. J. S., & Dantas, E. L. The tectonic evolution of the Transbrasiliano Lineament in northern Paraná Basin, Brazil, as inferred from aeromagnetic data. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 119, n. 3, p. 1544–1562, 2014.

Evans, T. L., Costa, M., Tomas, W. M., & Camilo, A. R. Large-scale habitat mapping of the Brazilian Pantanal wetland: A synthetic aperture radar approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 155, 8–108, 2014.

Penatti, N.C. Geobotânica e fenologia da superfície terrestre no estudo da diversidade do Pantanal: uma abordagem multi-sensor. 2014. 231p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

Pott, A., & Silva, J. Terrestrial and aquatic vegetation diversity of the Pantanal wetland. In: Bergier, I.; Assine M.L. (Orgs.). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer International Publishing, 2016, p.111–132.

Savitzky, A., & Golay, M. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical chemistry**. 36(8), 1627–1639, 1964.

Silva, J. D. S. V.; Abdon, M. D. M. Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1703–1711, 1998.

Soares, P.C., Assine, M.L., Rabelo, L. The Pantanal Basin: recent tectonics, relationships to the Transbrasiliano Lineament. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 9. 1998, Santos. Anais. INPE, São José dos Campos, p. 459–469, On-line. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.08.10.23/doc/1_141o.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2016.

Ussami, N., Shiraiwa, S., & Dominguez, J. M. L. Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: The Pantanal wetland, SW Brazil. **Tectonics**, v. 18, n.1, p. 25–39, 1999.

WWF- Brasil. **Monitoring alterations in vegetation cover and land use in the upper Paraguay river basin: Brazilian portion: period of analysis: 2002 to 2008**. Brasília: Conservation International, 2009. 58p.

Anexo 4: Lineamento de vegetação no Pantanal: correlação do comportamento temporal da pluviosidade e verdor da vegetação e sua persistência espacial

Lineamento de vegetação no Pantanal: correlação do comportamento temporal da pluviosidade e verdor da vegetação e sua persistência espacial

Eduardo Francisco Ribeiro¹
Natasha Costa Penatti¹
Teodoro Isnard Ribeiro De Almeida¹

¹Instituto de Geociências—USP/IGc
Rua do Lago, 562 – Cidade Universitária, São Paulo-SP -
05508-080 {eduardofribeiro, nat.bio}@gmail.com
talmeida@usp.br

Abstract. The Pantanal basin is a Quaternary active sedimentary basin which subsidence is controlled by faults. It is the largest tropical wetland in the world, which is located in the center of South America and has an area of about 170,000 km² (with 138,183 km² in Brazil). Vegetation lineaments in wetlands are very important because they help to identify tectonic features that are important to understand their formation and environmental variability. These features in Pantanal are expressed by differences in vegetation type and phenology. Although the relief express the location of faults, in this flat surface it changes abruptly the vegetation phenology. This paper discusses from remote data the relation between local rainfall and vegetation phenology variability, using TRMM and MODIS data, in a vegetation lineament with about 100 km long and the azimuth of 69°NE. The results show strong correlation between rain and phenology in the SE portion of the lineament, while the NW portion shows a weak dependence due to a slightly difference in elevation that changes the flood seasonality. These conclusions, associated with the linearity of the contact between these environments, indicate that the presence of a fault with vertical displacement is responsible for this phenological variability.

Palavras-chave: multi-sensor, lineamento de vegetação, geobotânica, TRMM, MODIS, séries temporais, vegetation lineament. multisensor, geobotany, time series

1.Introdução

O Pantanal é uma bacia sedimentar ativa do Quaternário e também a maior área úmida tropical do planeta. Localizada na Bacia do Alto Paraguai (BAP) é considerada Patrimônio

Natural da Humanidade e Reserva da Biosfera Mundial. Sua área dentro do Brasil abrange 138.183km² e está inserida entre as latitudes 15° 30' e 22° 30' sul e longitudes 54° 45' e 58° 30' oeste, na área Centro-Oeste do Brasil entre os estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul (Silva e Abdon, 1998) e limítrofe com a Bolívia e Paraguai onde ocupa em torno de 30.000km² (Pott e Silva, 2016). Apesar de sua importância, ainda é pouco conhecida sua rica variabilidade ambiental, que ocorre devido a mistura dos biomas do Cerrado, Floresta Amazônica, Chaco, Mata Atlântica, relictos de Caatinga e a complexa relação entre os tipos de solo, a vegetação e a água (Pott e Silva, 2016). Estes autores observam que pequenas variações no relevo afetam drasticamente a presença, a intensidade e a duração das inundações dessa planície, gerando ambientes diferentes, referindo-se a um “caos autoorganizado”.

De acordo com Ussami et al. (1999) a Bacia do Pantanal é consequência da reativação tectônica do *forebulge* durante o último evento compressivo andino, a aproximadamente 2,5 Ma. Seu depocentro é paralelo à elongação do *forebulge* e a sua subsidência é controlada por falhas (Assine e Soares, 2004). Efeitos da reativação de

falhas do embasamento são evidentes na morfologia da bacia sob a forma de lineamentos, condicionando, além da ocorrência dos terrenos pré-cambrianos na borda oeste, as drenagens aluviais modernas no interior da bacia e delimitando os lobos deposicionais e provocando frequentes sismos (e.g. Dias et al., 2016).

Lineamentos são definidos por O’Leary et al. (1976) como feições mapeáveis, simples ou compostas por segmentos lineares cujas partes estão alinhadas de forma retilínea ou levemente curvilínea e que se distinguem do padrão das feições adjacentes. Essas expressões podem ser fisiográficas (originadas por variações do relevo) ou tonais quando é dada pelo contato entre diferentes tonalidades em imagens orbitais, causadas, por exemplo, pelo contraste entre duas unidades geológicas distintas ou pela vegetação. A relação dessas estruturas está, muitas vezes, relacionada a causas geológicas, como por exemplo falhas ou fraturas. No Pantanal, devido às pequenas variações de relevo e à grande variabilidade da altura do dossel das coberturas vegetais, os modelos digitais de elevação (MDE) acabam representando elevações aparentes que são, na verdade, o contraste entre dosséis de diferentes alturas. Entretanto o estudo destas variações pode mostrar informações importantes sobre a geologia local e sobre a influência tectônica no desenvolvimento da paisagem pantaneira através dos lineamentos de vegetação. Os lineamentos de vegetação são feições lineares formadas por coberturas vegetais diferentes, em geral em função de falhas e fraturas que modificam o movimento preferencial da água e afetam os parâmetros sazonais da vegetação.

No Pantanal, pequenas alterações na topografia podem gerar ambientes diferentes para o desenvolvimento da vegetação. Almeida et al. (2015) discutem que variações de elevação decimétricas (não identificáveis em MDE) podem afetar drasticamente o regime de alagamentos e, conseqüentemente, a resposta sazonal da vegetação e os habitats, como discutido mais longamente em Pott & Silva (2016). A partir de séries temporais de índices de vegetação é possível se quantificar e analisar os parâmetros sazonais que controlam essas mudanças através da *Land Surface Phenology* (LSP) em grande escala (De Beurs e Henebry, 2004; Tan et al., 2008). Na área norte do Pantanal há um lineamento de vegetação evidente e retilíneo que divide dois conjuntos de vegetação bastante diferentes (Figura 1), como pode ser observado em WWF- Brasil (2009) e em Evans et al. (2014). Visando investigar este lineamento, o presente trabalho tem como objetivo mostrar a anômala relação entre chuva e fenologia da vegetação nos dois lados deste lineamento de vegetação com em torno de 100 km de extensão que ocorre no norte do Pantanal.

Figura 1. A esquerda, mapa de vegetação modificado de Evans et al. (2014), notar a presença do lineamento marcando a variação entre Savana aberta e Savana aberta inundável. A direita, mapa de vegetação segundo WWF- Brasil (2009), notar a presença do lineamento marcando a variação entre Formações Florestais e Savana florestada/Cerradão e Savana arborizada/Cerrado.

2. Metodologia de trabalho

As imagens do programa MODIS são fundamentais no estudo de extensas regiões, particularmente as que tem intensa dinâmica sazonal como ocorre no Pantanal. O produto MOD13Q1 trata-se de imagens compostas dos melhores píxels coletados a cada dois dias em uma dada área durante 16 dias, ou seja, 23 imagens por ano com pouca ou nenhuma nebulosidade. Este produto tem resolução espacial de 250m e possui dois índices de vegetação, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI (*Enhanced Vegetation Index*), uma banda no infravermelho médio, uma no infravermelho próximo, uma no vermelho, no azul e uma imagem de qualidade de píxel (*píxel reliability*). São ideais no estudo da evolução sazonal, devido a possibilidade de se construir séries temporais com baixo ruído e cobertura de nuvens, permitindo o estudo das variações sazonais da vegetação, como por exemplo através da LSP, partir de um sensor remoto.

A partir dessas imagens, foi construída uma série temporal de NDVI entre os anos de 2001 e 2015. Embora problemas atmosféricos das imagens sejam minimizados no produto MOD13Q1 ainda resta o ruído de variações angulares, nuvens residuais e perturbação atmosférica, que pode atrapalhar a análise dos dados. Com o objetivo de minimizar esses ruídos no perfil temporal, foi realizada a filtragem dos dados através do algoritmo SavitskyGolay (Savitzky e Golay, 1964) no software TIMESAT (Chen et al., 2004; Jönsson e Eklundh, 2002, 2004). Este software foi desenvolvido para o tratamento de séries temporais bem como para a extração dos seus parâmetros sazonais. A filtragem consiste no ajuste do perfil temporal a uma função polinomial de baixo grau através do conjunto de dados usando como fator ponderador a banda de qualidade (píxel reliability) e a forma do perfil. A partir das imagens filtradas, foram definidas duas áreas como

demonstrado na Figura 1, uma a noroeste da feição estudada e uma a sudeste. A partir dessas imagens foi extraído o perfil temporal médio para as duas regiões.

Foi obtida ainda a série temporal do produto 3B43 do sistema sensor TRMM que estima a média mensal obtida a partir de dados de sensores ópticos e em micro-ondas. A comparação entre o comportamento do verdor (indicado pela série NDVI) e a pluviosidade foi feita considerando as áreas definidas na Figura 1. A resolução espacial do sistema sensor TRMM é de 0,25 graus (27,5 km no local) e para cobrir as áreas acima definidas foi considerada a resposta média de um grupo de cinco píxels para cada lado. Decidiu-se trabalhar com esses conjuntos de píxels para minimizar erros na base de dados. As séries TRMM são mostradas na forma de perfis temporais médios extraídos das duas áreas e seu resultado foi comparado com o perfil temporal médio das mesmas áreas na série de NDVI. Foi então calculado para as duas áreas o coeficiente de correlação de Pearson (r) considerando a resposta simultânea NDVI-TRMM e a com um e dois meses de retardo para o NDVI já que o tempo de resposta da vegetação à chuva não é instantâneo.

Figura 2. A esquerda a localização do Pantanal em relação ao Brasil. Abaixo a localização do Pantanal (limites em azul) e a área estudada em uma imagem do produto MOD13Q1 do DOY 241 (29 de agosto, seca) do ano 2000 em RGB: *NIR*, *MIR* e *Red*. À esquerda as porções NW e SE estudadas neste trabalho.

3.Resultados e discussão

A precipitação nas regiões NW e SE do lineamento apresentaram grande similaridade (Figura 2), indicando não haver grandes alterações na pluviosidade local. O cruzamento da série temporal de precipitação com a de NDVI para as sub-regiões a NW e SE do lineamento mostraram resultados muito diversos (Figura 3). Evidentemente há relação entre a resposta de clorofila e área foliar, parâmetros básicos indicados pelo NDVI, com o ciclo de chuvas.

Figura 3. Perfil temporal médio TRMM das áreas a noroeste (NW) e a sudeste (SE) do lineamento em estudo.

Figura 4. Comparação do perfil temporal de NDVI e precipitação mensal das áreas a noroeste (NW) e a sudeste (SE) do lineamento em estudo.

O tempo de resposta entre a rebrota e o início das chuvas e a perda de clorofila após o início da estiagem foi comparado entre os perfis temporais de precipitação média mensal e NDVI. Analisou-se a correlação existente entre os dados originais e com um e dois meses de retardo do verdor em relação à pluviosidade, considerando que a maior correlação entre os dados indicaria o tempo de reação da vegetação, tanto com o início das chuvas como com o início da estiagem. A Tabela 1 mostra que o tempo de retardo de um mês do NDVI em relação à precipitação foi o que apresentou maior correlação na área noroeste ($r=0,68$).

A área a SE do lineamento (Figura 3) apresenta alta correlação entre as duas variáveis na área SE, demonstrando uma forte dependência da intensidade do verdor da vegetação com a evolução das chuvas com a precipitação precedendo o verdor em um mês. Assine et al. (2016a) discutem a dinâmica da hidrologia superficial do Pantanal e mostram que na área a

SE do lineamento o fluxo d'água superficial dominante é de escoamento pluvial (*pluvial runoff*), o que implica na ausência de outra entrada significativa de água no sistema e dependência da vegetação à água de chuva, o que corrobora com os dados aqui obtidos.

A área noroeste apresenta menor correlação linear ($r=0,41$), ou seja, a relação chuvaverdor é menos intensa. Desta forma, pode-se verificar que parte considerável da água que abastece esta área não é de origem das chuvas locais: a dominância do fluxo de água superficial é dada pelo fluxo de água em rios, córregos e outros canais (*streamflow*), como demonstrado por Assine et al. (2016a). Outro fator que diminui a relação da chuva e do verdor nessa área é que no período das chuvas há a queda na resposta de NDVI causada pelas inundações, que são longas e espacialmente importantes na área imediatamente a NW do lineamento. Quando áreas de campo, campo sujo e florestas de dossel aberto (fitofisionomias comuns na área) estão inundadas há inevitável redução na resposta do verdor (NDVI). Observe-se ainda que a amplitude das variações do NDVI a noroeste do lineamento é muito menor que a sudeste, pois há uma introdução contínua de água por rios perenes, disponibilizando-a para a vegetação. Em longas e generalizadas estiagens naturalmente também a água dos rios escasseará e a variação no NDVI na área a NW do lineamento será mais intensa e com comportamento mais semelhante ao encontrado na área a SE. No ano de 2009 (mês 115; Figura 3) ocorreu esta situação graças à intensa seca em toda a área, a qual levou a uma queda importante do verdor em ambos os lados do lineamento.

Tabela 1. Teste de retardo do dado de verdor (NDVI) em relação à estimativa de precipitação (TRMM).

Correlação de Pearson (r)	r direto	r com um mês de atraso	r com dois meses de atraso
NW	0.38	0.41	0.36
SE	0.58	0.68	0.60

A partir dos dados apresentados pode-se concluir pela simples dominância de *runoff* na porção mais elevada e distante do principal rio da área enquanto, nas proximidades do rio, dominância por fluxo superficial, em drenagens perenes ou não é uma situação comum. O incomum na área de estudo é a linearidade do contato entre áreas com tais dominâncias e a total independência do curso atual do rio: na área demarcada em amarelo na Figura 1 o lineamento está entre 3 km e 20 km do rio São Lourenço. Os trabalhos de WWF- Brasil (2009) e Evans et al., (2014), ao discutirem respectivamente as coberturas vegetais e os habitats pantaneiros, mostram que a diferente dinâmica da hidrologia superficial, limitada pelo lineamento de vegetação aqui estudado, tem importante significado ambiental. A magnitude desta feição linear por si sugere uma origem geológica, uma possível falha em que o bloco noroeste foi abatido em relação ao bloco sudeste. Em Assine et al. (2016b) este movimento é descrito, quando afirmam que um sistema de falhas NE-SW controla áreas de maior ou menor subsidência e que o mais notável exemplo destas estruturas é o que separa uma importante área de subsidência no norte do Pantanal, que recebe sedimentos das áreas fonte dos rios Cuiabá São Lourenço e Paraguai da área mais elevada do megaleque do Taquari, com sedimentos da área-fonte

dominados por areia quartzosa. Acrescente-se que a área a sudeste do lineamento é dominada por sedimentos arenosos do megaleque do Taquari, muito permeável e com baixa taxa de armazenamento de água, tornando-se mais dependente da água da chuva enquanto a área a noroeste é submetida a inundações do rio São Lourenço cuja área fonte possui mineralogia mais variada do que os sedimentos do Rio Taquari.

A área vizinha do Pantanal, a nordeste da área de estudo, possui uma descontinuidade magnética com ao menos 400 km de extensão associada à zona de falhas General Carneiro a qual pode ser continuidade na direção NE do lineamento de vegetação aqui descrito o qual pode, assim, representar uma reativação de estrutura formada no Neoproterozoico e ativa no Mesozoico (Juro-Cretáceo), afetando a sedimentação na porção norte da Bacia Sedimentar do Paraná (Curto et al., 2014). Considerando ainda que a literatura associa o Lineamento General Carneiro e estruturas subsidiárias com o Lineamento Transbrasiliiano (Curto et al., 2014), o lineamento de vegetação estudado estaria relacionado com uma geossutura que se estende por cerca de 4.000 km na América do Sul e que continua na África como lineamento Kandi (Brito Neves et al., 2002), como já aventado na literatura por Soares et al. (1998).

4. Conclusões

Neste trabalho discute-se a diferente importância das chuvas locais na cobertura vegetal que ocorre nos dois lados de grande lineamento de vegetação que há no norte do Pantanal. Cruzando dados mensais médios de um intervalo de quinze anos de verdo da vegetação (NDVI) e pluviosidade local (TRMM) demonstrou-se a maior independência entre verdo e chuva a noroeste do lineamento, o que é explicado pela alimentação do freático durante as secas pelo rio São Lourenço, o qual inunda ampla e longamente parte daquela área. Em consequência há maior disponibilidade hídrica na porção NW em relação à SE, com reflexo tanto no diferenciado comportamento fenológico da vegetação como nas espécies presentes.

Os dados apresentados, ao mostrar que a variação na disponibilidade hídrica responsável pela diferença entre os ambientes não é dada por variações climáticas, demonstram que na porção a NW do lineamento, alimentada por rio perene, encontra-se topograficamente abatida em relação à porção a SE. Como esse abatimento é limitado linearmente por cerca de 100 km, há a clara indicação de tratar-se de uma falha com rejeito vertical. A pequena diferença no relevo assim gerada, dificilmente perceptível em modelos digitais de elevação, é aqui demonstrada indiretamente por dados remotos de pluviosidade e verdo da vegetação.

Referências Bibliográficas

- Almeida, T. I. R.; Penatti, N. C.; Ferreira, L. G.; Arantes, A. E.; do Amaral, C. H.; Principal component analysis applied to a time series of MODIS images: the spatio-temporal variability of the Pantanal wetland, Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, v. 23, n. 4, p.737–748, 2015.
- Assine, M. L.; Soares, P. C.; Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, v.114, n. 1, p.23–34, 2004.
- Assine, M. L.; Macedo, H.; Stevaux, J.; Bergier, I. Avulsive rivers in the hydrology of the Pantanal wetland. In: Bergier, I. ; Assine M.L (Org). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer International Publishing, 2016a p. 83–110.

Assine, M. L.; Merino, E. R.; Pupim, F. N.; Warren, L. V.; Guerreiro, R. L.; McGlue, M. M. Geology and geomorphology of the Pantanal basin. In: Bergier, I. ; Assine M.L. (Org). **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer International Publishing, 2016b, p.23–50.

Brito Neves, B. B.; Van Schmus, W. R.; Fetter, A. North-western Africa–North-eastern Brazil. Major tectonic links and correlation problems. **Journal of African Earth Sciences**, v. 34, n.3, p. 275–278, 2002.

Chen, J.; Jönsson, P.; Tamura, M.; Gu, Z.; Matsushita, B.; Eklundh, L. A simple method for reconstructing a high-quality NDVI time-series data set based on the Savitzky–Golay filter. **Remote sensing of Environment**, v. 91, n. 3, p. 332–344, 2004.

Curto, J. B.; Vidotti, R. M.; Fuck, R. A.; Blakely, R. J.; Alvarenga, C. J. S.; Dantas, E. L.; The tectonic evolution of the Transbrasiliano Lineament in northern Paraná Basin, Brazil, as inferred from aeromagnetic data. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 119, n. 3, p. 1544–1562, 2014.

Curto, J. J. B.; Vidotti, R. R. M.; Blakely, R. R. J.; Fuck, R. A. R.; Crustal framework of the northwest Paraná Basin, Brazil: Insights from joint modeling of magnetic and gravity data. **Tectonophysics**, v. 655, p. 58–72, 2015.

De Beurs, K. M.; Henebry, G. M.; Land surface phenology, climatic variation, and institutional change: analyzing agricultural land cover change in Kazakhstan. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 497–509, 2004.

Dias, F. L. F.; Assumpção, M.; Facincani, E. M. E.; França, G. S.; Assine, M. L.; Paranhos Filho, A. C.; Gamarra, R. M.; The 2009 earthquake, magnitude mb 4.8, in the Pantanal Wetlands, west-central Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88, n. 3, p. 1253–1264, 2016.

Evans, T. L.; Costa, M.; Tomas, W. M.; Camilo, A. R.; Large-scale habitat mapping of the Brazilian Pantanal wetland: A synthetic aperture radar approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 155, p. 89–108, 2014.

Jönsson, P.; Eklundh, L.; Seasonality extraction by function fitting to time-series of satellite sensor data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 40, n. 8, p. 1824–1832, 2002.

Jönsson, P.; Eklundh, L.; TIMESAT—a program for analyzing time-series of satellite sensor data. **Computers & Geosciences**, v. 30, n. 8, p. 833–845, 2004.

O’Leary, D.; Friedman, J. D.; Pohn, H. A.; Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. **Geological Society of America Bulletin**, v. 87, n. 10, p. 1463–1469, 1976.

Pott, A.; Silva, J.; Terrestrial and aquatic vegetation diversity of the Pantanal wetland. In: **Dynamics of the Pantanal Wetland in South America**. Springer International Publishing, 2016. p. 111–131.

Savitzky, A.; Golay, M.; Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures. **Analytical chemistry**, v. 36, n. 8, p. 1627–1639, 1964.

Silva, J. D. S. V.; Abdon, M. D. M.; Delimitação do Pantanal Brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1703–1711, 1998.

Soares P.C.; Assine M.L.; Rabelo L.; The Pantanal Basin: recent tectonics, relationships to the Transbrasiliano Lineament. **Anais IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 459–469, 1998.

Sykes, L. R.; Intraplate seismicity, reactivation of preexisting zones of weakness, alkaline magmatism, and other tectonism postdating continental fragmentation. **Reviews of Geophysics**, v. 16, n. 4, p. 621–688, 1978.

Tan, B.; Morisette, J.; Wolfe, R.; Gao, F.; Vegetation phenology metrics derived from temporally smoothed and gap-filled MODIS data. In: **IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium**. IEEE, 2008. p. III-593-III-596.

Ussami, N.; Shiraiwa, S.; Dominguez, J. M. L.; Basement reactivation in a sub-Andean foreland flexural bulge: the Pantanal wetland, SW Brazil. **Tectonics**, v. 18, n. 1, p. 25-39, 1999.

WWF – Brasil. **Monitoring alterations in vegetation cover and land use in the upper Paraguay river basin, brazilian portion, period of analysis: 2002 to 2008**. Brasília: WWF, 2009, 56 p.