



O Pantanal Araguaiano

Paulo Roberto Martini
Valdete Duarte
Egídio Arai
Luaê Andere

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Av. dos Astronautas, 1758 - Caixa Postal 515
12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{martini, valdete}@dsr.inpe.br

Resumo. Rio Araguaia percorre um extenso pantanal no domínio da Ilha do Bananal, fronteira dos estados de Mato Grosso, Goiás e Tocantins. A estrutura tectônica que sustenta a feição tem fortes semelhanças com um aulacógeno gerado provavelmente pela Geossutura Tocantins-Araguaia. Esta estrutura faz parte da do extenso sistema de falhas que corta o país conhecido como Lineamento Trans-Brasileiro e que se estende desde o Mato Grosso do Sul, chega até o sul do Estado do Pará e enverga para a margem atlântica no Estado do Ceará. O estudo e a visualização do extenso Pantanal Araguaiano são apresentados neste artigo com base em imagens WFI-CBERS e TERRA-MODIS que permitem análises regionais de amplos territórios. Além de demonstrar a aptidão destas imagens para estudos geológicos e geomorfológicos, os resultados parciais apontam que o Pantanal Araguaiano pode ser o maior pantanal individual do Brasil. Imageamentos sazonais e medidas retificadas, ainda preliminares, são apresentadas.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, áreas úmidas, Araguaia, Pantanal.

Abstract. The Araguaia River runs through a wide swamp area within the domain of Bananal Island along the borders of Mato Grosso, Goiás and Tocantins states in Brazilian Midwest Region. The tectonic structure that supports such feature hardly resembles an aulacogen that was generated probably by a system of faults known locally as Tocantins-Araguaia fracture zone that is part of a country wide faulting zone named Trans-Braziliano Lineament .It can be drawn from the State of Mato Grosso do Sul to the Southern edge of Para State until the margin of Atlantic Ocean in the coast of Ceara. Analysis and visualization of the large Araguaiano Swamp is presented in this article based on WFI-CBERS and TERRA-MODIS images that are proving to allow regional approaches of very wide territories. Partial results demonstrate the deep aptitude of those images for applications in Geology and Geomorphology. Results are also indicating that Araguaiano Swamp can be the largest single swamp area in Brazil. Temporal images also allow to map scars of burning and surface waters both for dry and wet seasons.

Key-words: remote sensing, wetlands, Araguaia, Pantanal.

1. Introdução

O Rio Araguaia percorre uma extensa região pantanosa conhecida de uma forma generalizada como Ilha do Bananal. A região se desdobra na fronteira dos estados de Mato Grosso, Goiás e Tocantins, no chamado centro-oeste do Brasil (**Figura 1**). A Ilha do Bananal como entidade hidrográfica é contornada por rios como o Araguaia e o Cristalino onde o destaque é a estrutura tectônica que sustenta a feição. Ela apresenta fortes semelhanças com aulacógenos neste caso gerado provavelmente pela geossutura Tocantins-Araguaia. Esta estrutura faz parte do extenso sistema de falhas que corta o país conhecido como Lineamento Transbrasiliano e que se estende desde o Mato Grosso do Sul, chegando até o sul do Estado do Pará com uma provável correlação com zona de cisalhamento que avança para nordeste até a costa do Ceará. No trecho estudado um sistema de falhamentos deu origem a estrutura de afundamento que poderia ser um rifte não fosse o fato de que a feição pantaneira se acomodar no lineamento continental que pode se tratar de um limite de placa cuja evolução foi abortada criando-se neste caso o chamado aulacógeno.

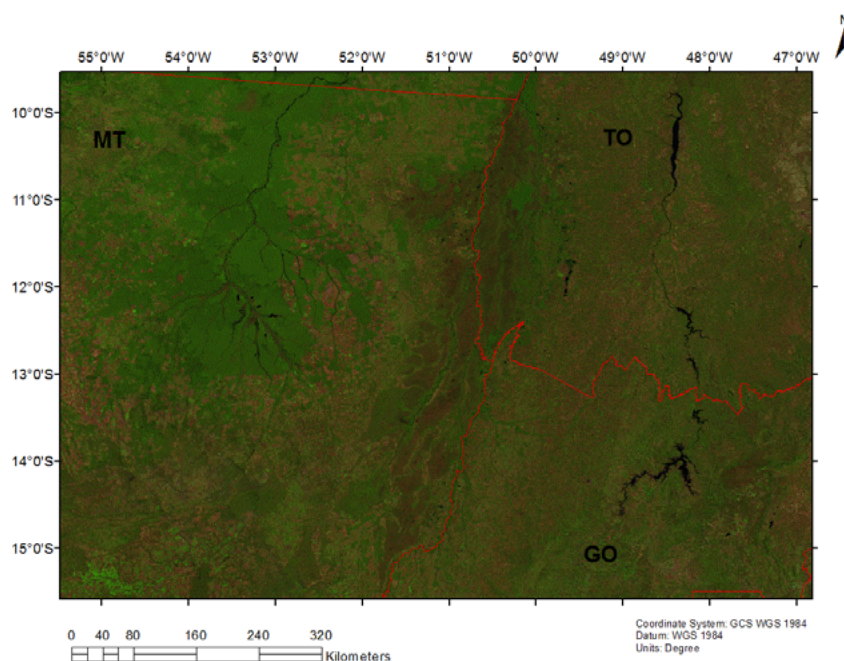


Figura 1. Pantanal Araguaiano ao centro da cena (tons escuros) que se dispõe ao longo da fronteira entre os estados de Goiás, Tocantins e Mato Grosso. Mosaico Terra-MOD09 de 18 de junho 2015.

O eixo central da mancha pantaneira mediu 661,23 quilômetros segundo os procedimentos abaixo descritos.

O estudo e a visualização do extenso Pantanal Araguaiano são apresentados neste artigo com base em imagens WFI-CBERS e TERRA-MODIS que permitem análises regionais de amplos territórios. Além de demonstrar a aptidão destas imagens para estudos geológicos e geomorfológicos, os resultados parciais apontam que o Pantanal Araguaiano pode ser o maior pantanal individual do Brasil. Maior talvez que quaisquer daqueles compartimentados como Paiaguá, Poconé e Cáceres, que compõem o Pantanal Matogrossense. Imageamentos sazonais e medidas retificadas ainda preliminares são apresentadas também. Os temas sazonais apresentados dizem respeito à distribuição das águas superficiais entre os períodos de cheias e vazantes. No período das vazantes (julho a setembro) foi possível também mapear cicatrizes de queimadas que assolam o pantanal estudado principalmente em sua face norte.

2. Materiais e Métodos

2.1. Imagens e Procedimentos

As imagens WFI-CBERS foram selecionadas a partir do Centro de Dados de Sensoriamento Remoto da Divisão de Geração de Imagens do INPE em Cachoeira Paulista se prestam apenas para análise temática pois não são corrigidas geometricamente diferentes dos produtos MODIS utilizados. Estes foram baixados do acervo, tornado público pelo Centro Espacial Goddard da NASA situado em Greenbelt no Estado de Maryland. As imagens MODIS não demandam correções, pois vem ortoretificadas enquanto que aquelas WFI precisam ser corrigidas para que as medidas tenham a melhor acurácia possível para elementos de imagem (pixel) da ordem de 250 metros.

O processamento aplicado aos produtos de reflectância de superfície MOD09 foi a reamostragem da banda 06 (infravermelho médio) com 500 metros de resolução espacial para 250 metros de acordo com as bandas 01 (vermelho) e 02 (infravermelho próximo) utilizando a ferramenta *Modis Reprojection Tool* – MRT, que une os *tails*, converte do formato *HDF* para *Geotiff*, onde definimos a projeção geográfica e o datum WGS 1984.

As imagens do Sensor WFI foram combinadas seguindo a composição das bandas 221 nas cores RGB. As imagens MODIS selecionadas do banco americano são compostas em RGB segundo as bandas SWIR, NIR e vermelha.

Foram selecionadas também algumas cenas de datas diferentes de forma e se conhecer algo mais a respeito do comportamento sazonal do Pantanal Araguaiano.

As cenas utilizadas neste trabalho são na tabela a seguir:

Tabela 1. Produtos CBERS e MODIS e as datas empregadas ao estudo.

PRODUTOS/ MÊSES	ABRIL	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO
WFI CBERS-2B-162/116	2004	2004/ 2009			
WFI CBERS-2B-161/108	2004	2004			
TERRA- MOD09A1Q1	2004/ 2009	2004/ 2009	2004	2004	2004

-O passo adiante foi a criação de banco de imagens reunindo-as em um mesmo ambiente digital de forma a editar matricialmente o conjunto de atributos espectrais, temporais e geométricos da área de estudo. Esta parte sensível do trabalho foi realizada por especialista em edição matricial orientada por fotos – intérpretes. Deve ser mencionado também que as ima-

gens usadas na edição das cicatrizes de queimadas foram antes submetidas ao crivo do MLME - Modelo Linear de Mistura Espectral e subsequente segmentação..

Dois pacotes de software foram utilizados: a ferramenta SPRING e a plataforma ENVI, Esta última foi usada apenas para criar os mosaicos. Todos os outros passos referentes ao processamento das imagens e á edição dos temas foram feitos com o suporte da versão 4.3 do SPRING.

Os itens que seguem dão conta tanto de resultados diretos obtidos pelas medidas referentes às águas e às queimadas, mas também trazem considerações geológicas e geomorfológicas. As medidas são de ordem hidrológica e ambiental (queimadas) e as considerações geológicas tratam de resultados indiretos obtidos para maior conhecimento do Pantanal Araguaiano como entidade tectônica, a partir da visão sinótica das cenas utilizadas.

3. Resultados

3.1. Indiretos

As considerações geológicas dão conta que as imagens sinóticas permitiram reconhecer de uma forma visual as extensas feições descritas na região e que os pioneiros nunca conseguiram mapeá-las de forma contínua por fotos-aéreas e por sobrevoos. Estes resultados indiretos dão conta do avanço do conhecimento geológico promovido pelas imagens frente ao trabalho dos pioneiros da Geologia da região estudada.

A constatação de que a região da Ilha do Bananal está controlada por um vale de origem tectônica foi originalmente promulgada pelo trabalho pioneiro do Geólogo Fernando Flavio Marques de Almeida. Segundo ele o denominado Geossinclíneo Paraguai, estava ocorrendo ao longo de uma imensa zona de fraturamento da crosta e que na falta de um termo adequado chamou de geossutura. Trabalhos posteriores sobre a feição, principalmente aqueles liderados pelos geólogos R. Fuck e J. Curto ambos da Universidade de Brasília foram sintetizados em artigo da Revista FAPESP número 236 de outubro de 2015. Nela os autores tratam o grande lineamento como “Fratura Mãe”. Estes geólogos expandiram aquela feição local para o continente inteiro tratando-o como Lineamento Transbrasiliano, uma feição bem mais abrangente em área e bem mais antiga no tempo geológico. Ela começaria ainda no Paraguai, se estendendo para o Cinturão de Dobramento Araguaia-Tocantins (direção norte) e também para nordeste seguindo a zona de cisalhamento que chega ao litoral do Ceará, Delgado e Pedreira (1995). Alguns autores como Cunha e outros (1989) correlacionaram esta zona de cisalhamento nordestina com feições crustais da África. Assim que a “Fratura-Mãe” poderia ser vista como uma estrutura contínua do passado geológico quando o Brasil e a África Equatorial estavam unidos no chamado Continente Gondwana, tempos da pré-deriva. Esta observação sinótica da grande cicatriz é mostrada com alguma clareza mas apenas localmente na imagem WFI da banda infravermelha (**Figura 2**) da Região do Bananal.

Ali o feixe de alinhamentos da Província Serrana perde a direção NE interrompido pelo vale de afundamento N-S criado por fraturamento e basculamento de blocos (aulacógeno) no interior da geossutura flexionada para norte.

A espessura dos sedimentos ali resguardados chega a quase 400 metros a exemplo de outras bacias sedimentares correlacionáveis no tempo (Taubaté, Resende) e sua base é descrita como de conglomerados mal selecionados, indicando a rapidez com que a estrutura geológica foi criada e a rispidez seca do clima na época. Os estudos realizados na Província Serrana por Ross (1991), vizinha ao aulacógeno, (borda esquerda da **Figura 2**) permitem inferir idades do Paleogeno Médio a Superior (33 a 55 milhões de anos atrás) para o início da deposição no

assoalho do aulacógeno. Trata-se de uma época de soerguimento generalizado da Plataforma Brasileira, geradora de bacias intra-cratônicas em todo o território. O aulacógeno uma vez colmatado por sedimentos até do Pleistoceno Inferior (1.8 milhões de anos atrás) dá berço ao Rio Araguaia, passando a funcionar como um grande charco sazonalmente alagado, um pantanal. Este, o Araguaiano, controlado tipicamente pela Geossutura Tocantins-Araguaia como queria Almeida (op.cit.) e como demonstram as imagens analisadas com mais ênfase na mesma **Figura 2** já citada. O Rio Araguaia começa a correr quando os últimos sedimentos do processo de colmatação são depositados ao final do Neogeno e o início do Pleistoceno. O Rio Araguaia teria então, como idade inicial, 1.8 milhões de anos.

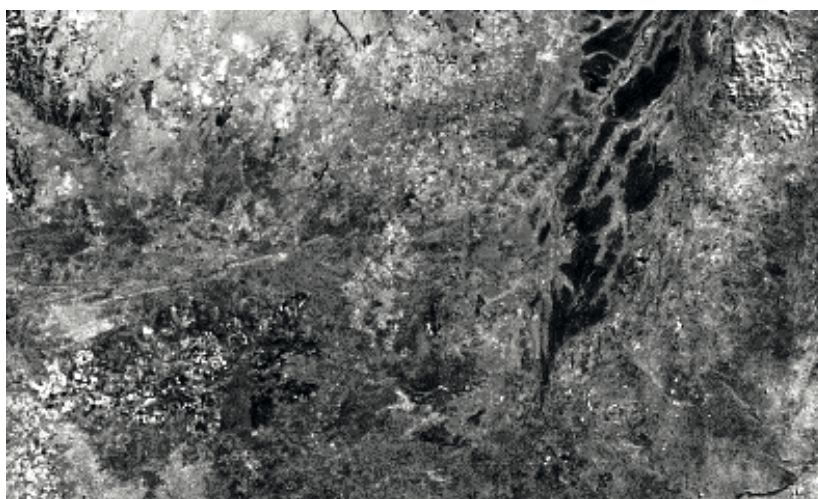


Figura 2. Imagem WFI da banda infravermelha mostrando parte da região pantaneira do Araguaia alongada na direção N-S e parte do Lineamento Transbrasiliano vindo de oeste e adotando a direção preferencial do aulacógeno. Norte para cima.

3.2. Resultados Diretos

Nesta parte serão apresentadas informações quantitativas tomadas sobre os produtos de satélites descritos anteriormente. Elas se referem às dimensões da área pantaneira estudada bem como à distribuição espacial das suas águas superficiais em termos sazonais. Nestes resultados está incluído o mapeamento das cicatrizes de queimadas feito em um ano crítico de forte vazante (2010).

3.2.1. Sobre as águas

O alagamento do Pantanal Araguaiano mostra significativas diferenças quando observado em épocas de cheia e de vazante como demonstram as **Figuras 3 e 4** tomadas nos meses de abril e de agosto. As diferenças aparecem principalmente na intensidade dos tons de cinza escuro que nesta faixa espectral se associam, segundo o entendimento dos autores deste trabalho, á áreas alagadas (**Figura 3**) ou encharcadas (**Figura 4**). Na imagem de abril, final da estação de cheias, ainda existe muita água dispersa e aflorante no pântano, dando os tons mais escuros. Na imagem de agosto a seguir, as águas não afloram predominando a assinatura do charco com pouca água aflorante.

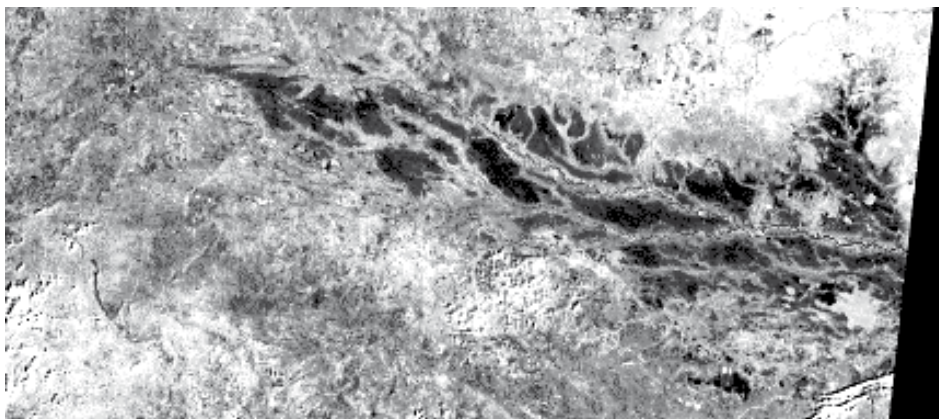


Figura 3. Imagem WFI da banda infravermelha mostrando trecho do pantanal estudado com a distribuição espacial dos alagamentos em meados do mês de abril de 2004 e muita água aflorante. Norte para a direita.

A imagem CBERS infravermelha a seguir é do meio da estação seca e é possível perceber a diferença visual da resposta espectral das áreas escuras na **Figura 3** anteriormente alagadas e agora mais claras e mais secas na **Figura 4**.

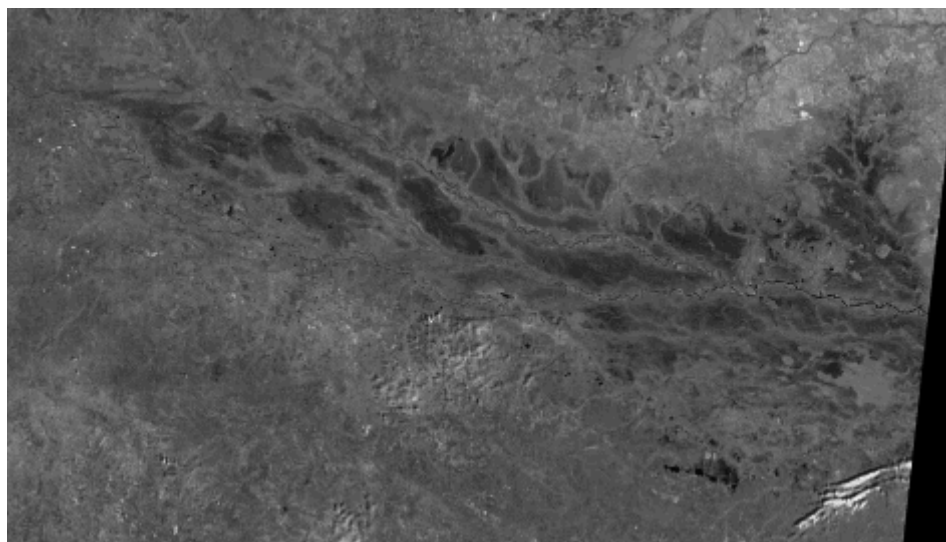


Figura 4. Imagem WFI da banda infravermelha mostrando trecho do pantanal estudado com a distribuição espacial dos encharcados e pouca água aflorante ao final do mês de agosto de 2009. Norte para a direita.

Os vetores editados da **Figura 1** deram para a área pantaneira do Rio Araguaia o valor de 69.642,12 quilômetros quadrados tendo seu eixo N-S medido 661,23 quilômetros e sua largura maior 195,58 quilômetros. A imagem é do Sensor MODIS ortorretificada, gravada em 18 de agosto 2009.

3.2.2. Sobre as cicatrizes de queimadas

O Pantanal Araguaiano sofre também períodos de grandes vazantes deixando seus terrenos

pouco encharcados ou mesmo secos quando suas águas deixam de aflorar e ficam submetidas apenas ao nível freático subterrâneo (**Figura 4**). Nesta hora as coberturas dos campos-cerrados se tornam sujeitas a queimadas intensas e amplas. O ano de 2010 foi extremamente seco e a Pantanal Araguaiano foi palco de uma drástica estação de queimadas. A **Figura 5** é uma composição do Sensor MODIS e foi gravada ao final do período de estiagem (setembro) do ano de 2010. Percebe-se que a metade sul (esquerda) está seca e a metade norte (direita) mostra cicatrizes generalizadas de queimadas. Além desta cena foi gravado outro conjunto referente aos meses de junho, julho e agosto daquele mesmo ano. Estas imagens foram processadas e editadas conforme os procedimentos descritos no item 2.

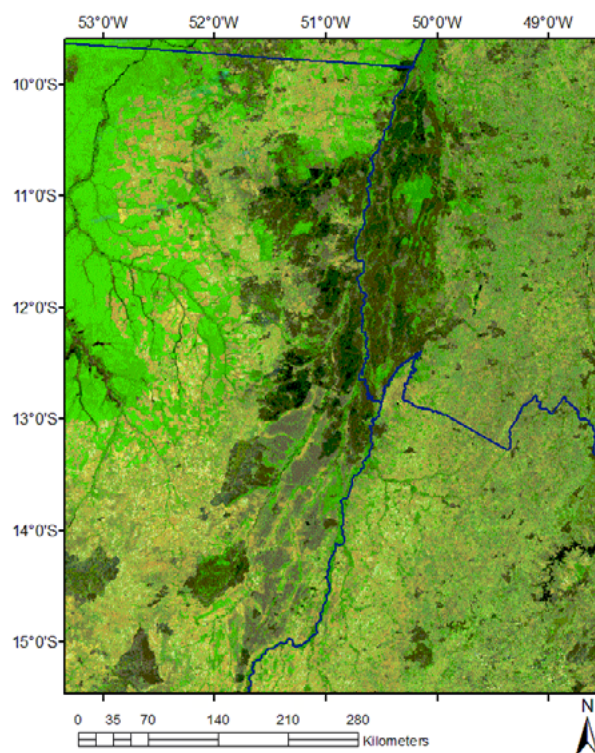


Figura 5. Composição do Sensor MODIS de setembro de 2010 com o Pantanal Araguaiano seco (esquerda inferior) e com as grandes cicatrizes de queimadas (centro superior).

A **Figura 6** mostra os totais das grandes extensões das cicatrizes de queimadas ocorridas nos meses de estiagem mais intensa do ano de 2010.

As medidas dos polígonos contendo as cicatrizes de áreas queimadas na estação de intensa estiagem do ano de 2010 estão apresentadas na **Tabela 2**.

Tabela 2. Áreas de cicatrizes de queimadas em quilômetros quadrados para a região do Pantanal do Araguaia.

Ano/2010	junho	julho	agosto	setembro	TOTAL
Queimadas	1895,98	3356,26	8802,38	24256,91	38311,53

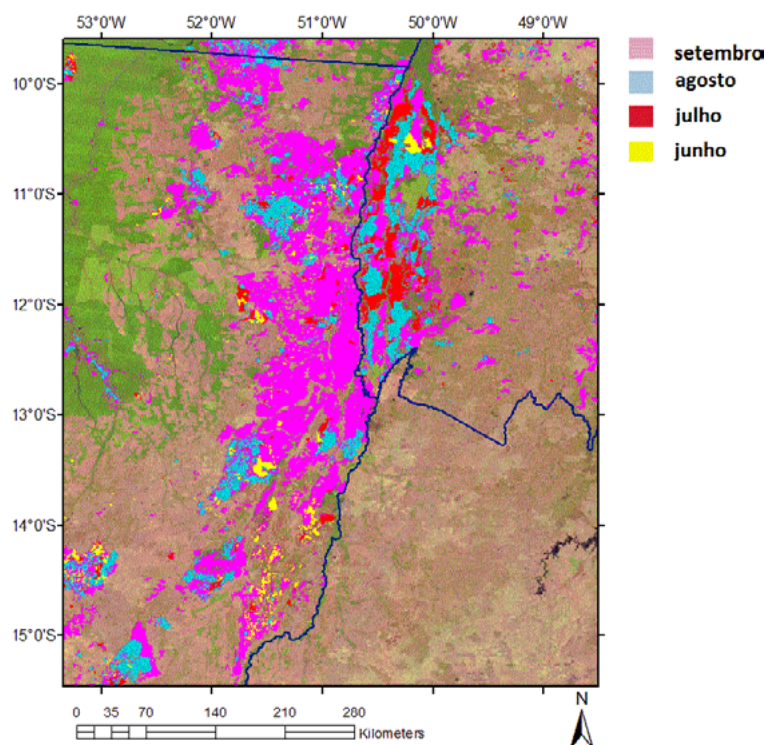


Figura 6. Imagem sintética MODIS sobreposta por mapa temático com a distribuição das cicatrizes de áreas queimadas ocorridas entre junho e setembro de 2010.

4. Conclusões.

Algumas conclusões podem ser antecipadas podendo ser divididas em duas partes. A primeira referente aos procedimentos e a segunda referente aos temas águas e queimadas.

4.1. Procedimentos

As imagens utilizadas se prestaram muito bem para os objetivos colocados no trabalho facilitando sobremaneira para as análises e as visualizações da grande unidade tectônica, o aulacógeno, seu condicionamento geológico e os lineamentos associados. A possível correlação destas estruturas com os tempos pré-deriva dentro do chamado Continente Gondwana também fica antecipada, merecendo estudos adicionais. A aptidão das imagens MODIS e WFI para estudos sinóticos sobre o meio físico sugerem que elas podem colaborar para uma revisão dos nossos mapas regionais de pequena escala (1:500.000 ou menores) pois estes mapas foram publicados ainda no século passado e clamam por atualizações. A escala utilizada neste trabalho foi de 1:3.000.000 aproximadamente mas pode-se chegar a 1:250.000 para resolução plena (1 pixel da imagem para um ponto da tela do computador) com a diferença que se observa em uma mesma cena uma área mínima de 800X800 quilômetros no caso do Sensor WFI e 2400X2400 no caso do Sensor MODIS. O mesmo pode ser afirmado com relação ao Sensor VIRSS do Satélite NPP-SUOMI, de idade mais recente (2011).

4.2. Idade e Dimensões.

A idade do Pantanal Araguaiano fica associada ao início da sedimentação no seu assoalho que está estabelecido como um aulacógeno pelo menos há 33 milhões de anos atrás. A sedimentação continuou por todo o Neogeno até o início do Pleistoceno (1.8 milhões de anos), uma história

portanto de 31 milhões de anos para a deposição dos cerca de 400 metros de material terroso. A colmatação findou dando berço ao Rio Araguaia podendo-se afirmar então que este grande rio começou a existir já no Pleistoceno Superior.

Conclusivamente ao final deve-se re-afirmar as dimensões do Pantanal Araguaiano extraídas trabalho:

-Eixo maior: 661,23 quilômetros

-Eixo menor: 195,58 quilômetros.

-Área de inundação máxima: 69.642,12 quilômetros quadrados.

As medidas das cicatrizes de áreas queimadas na estação de intensa estiagem do ano de 2010 foram as seguintes (quilômetros quadrados):

Junho: 1.895,98; Julho: 3.356,26; Agosto: 8.802,38 e Setembro: 24.256,90.

Total: 38.311,52 quilômetros quadrados

5. Bibliografia

Almeida, F.F.M. de. Geossinclíneo Paraguai. **I Semana de Debates Geológico. Escola de Geologia.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1965.

Cunha, R. P.; Martini, P. R.; Crepani, E. Resultados do projeto Gondwana: um exemplo de correlação geológica intercontinental utilizando imagens Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 3. (SBSR)., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1984. Printed, On-line. ISBN 978-85-17-00047-8. (INPE-4870-PRE/1481). Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQTRW/355KKUP>>. Acesso em: 12 ago. 2016.

Delgado, I.M. Pedreira, A.J. (Coord.). (1995). Mapa Tectono-Geológico do Brasil. Escala 1:7.000.000. DN-PM-CPRM. Brasília.

Curto, J.B; Fuck, R. Pesquisas determinam a influência de grande falha na crosta do Brasil na formação das bacias sedimentares do Paraná e do Parnaíba. **Revista FAPESP.** Número 236, p.56, outubro de 2015.

Andere, L.; Anderson, L. O.; Duarte, V.; Arai, E.; Aragão, J. R. L.; Aragão, L. E. O. C. Dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento de queimadas na Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 3534-3541. Internet. ISBN 978-85-17-0076-8. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP6W34M/3JM4BQA>>. Acesso em: 13 ago. 2016.

Ross, Jurandir Luciano Sanchez. **Estudo e cartografia geomorfológica da Província Serrana-MT.** São Paulo, 1987. 323p. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado)-Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas: Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo.