

Monitoramento de incêndios utilizando imagens Landsat 8: Um estudo de caso para o estado do Tocantins.

Gabriel Henrique de Almeida Pereira¹

Marciel Lohmann²

Flávio Deppe³

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR
Rua XV de Novembro, 1299 – 80.060-000 – Curitiba – PR, Brasil
pereira.gha@hotmail.com

²Universidade Estadual de Londrina – UEL
Caixa Postal 10.011 – 86.057-970 – Londrina – PR, Brasil
marciel_lohmann@yahoo.com.br

³Sistema Meteorológico do Paraná – SIMEPAR
Caixa Postal 19.100 – 81.531-980 – Curitiba – PR, Brasil
deppe@simepar.br

Abstract. Remote Sensing is a powerful tool for environmental monitoring because it allows continuous data collection of an area and/or phenomenon identification. Remote Sensing has been used for land use and land cover monitoring, deforestation, crop forecast, weather forecast, reservoirs monitoring, and others. Another application is fire monitoring. As a demonstration of this application, this work addresses the monitoring of fire via the use of Landsat 8 satellite images. It is presented a case of fire in the State of Tocantins, Brazil, in 2014. It was possible to follow fire evolution in a period of 16 days, the Landsat 8 satellite's temporal resolution. On the first date the fire had 2km of diameter and increased until around 10km of diameter on the second date. Over the pixels identified as fire a characterization and analysis was built using the spectral response according to the bands of Landsat 8 sensors.

Palavras-chave: Monitoramento Ambiental; Evolução do Incêndio; Tocantins.

1. Introdução

Imagens de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para estudos de impacto ambiental, climáticos, subterrâneos, marítimos, da superfície terrestre e em áreas urbanas (Ribeiro, Santos, e Centeno, 2002). Ou ainda, conforme Meneses e Almeida (2012), sensoriamento remoto possui aplicações nas áreas de levantamentos de recursos naturais e mapeamentos temáticos, monitoramento ambiental, detecção de desastres naturais, desmatamentos florestais, previsões de safras, cadastramentos multifinalitários, cartografia de precisão, defesa e vigilância, entre outras.

Existem diversos satélites em operação com sensores capazes de realizar imageamentos, com diferentes resoluções espaciais, espectrais e temporais. A série de satélites Landsat é um exemplo de satélites de imageamento amplamente utilizados no monitoramento ambiental. Moreira (1984) já havia relatado que os satélites da série Landsat se destacam quando o objetivo se refere ao monitoramento dos recursos florestais no Brasil, uma vez que coletam dados com características multiespectrais e repetitividade a cada dezesseis dias a um custo irrisório quando comparados aos métodos alternativos. O mesmo autor ainda relata que essas características viabilizam o uso de dados do Landsat, principalmente em estudos regionais, envolvendo grandes áreas.

Dentre os fenômenos ambientais recorrentes, os incêndios podem causar grandes perdas, sejam financeiras, de biodiversidade ou mesmo de vidas humanas. Segundo Batista (2004), incêndios são uma das mais importantes causas de danos aos ecossistemas florestais. A pressão que as áreas florestais sofrem devido à necessidade de novas áreas destinadas às atividades agropecuárias tem aumentado consideravelmente o número de incêndios e a extensão de áreas queimadas. Fenômenos como estes podem ter causas naturais ou antrópicas e ocorrem com grande frequência no Cerrado, na Amazônia e em outras partes do mundo.

A rapidez e eficiência na detecção e monitoramento dos incêndios florestais são fundamentais para a viabilização do controle do fogo, redução dos custos nas operações de combate, atenuação dos danos e dimensionamento dos efeitos produzidos pelo fogo sobre o ambiente (Batista, 2004).

Segundo Almeida-Filho (2003), o sensoriamento remoto orbital é o único meio efetivo de viabilizar um programa operacional de monitoramento de queimadas em escala amazônica. Dada à sua resolução espacial de 30 metros, imagens da série Landsat permitem estimar a extensão de áreas com cicatrizes de queimadas. Porém, a baixa repetitividade (16 dias), combinada com a frequente cobertura de nuvens, limitam a utilização das imagens. Além disso, o grande número de cenas e/ou imagens necessárias para cobrir a região demanda esforços para a confecção de mosaicos.

Neste âmbito, segundo Gontijo et al. (2011), o INPE – desde a década de 1980 – vem aprimorando um sistema de detecção de queimadas a partir de imagens de sensores a bordo de satélites polares e geoestacionários. São gerados os denominados "focos de calor", que são pontos identificados na superfície do solo quando detectada temperatura acima de 47°C e área mínima de aproximadamente 900 m². Porém, como afirmado por estes autores, nem todos os focos de calor representam incêndio, e nem todo incêndio é detectado pelos sensores.

Portanto, conforme relatado por Gontijo et al. (2011), é importante promover trabalhos de validação desses produtos que possibilitem o aperfeiçoamento tecnológico do monitoramento das queimadas. Assim, estes autores estudaram a relação entre os focos de calor obtidos pelo INPE e queimadas realmente ocorridas e detectadas em duas cenas do satélite Landsat 5 sensor TM+. Resultados indicaram que considerando o erro geométrico de deslocamento de focos de em até um pixel, 76,49% das cicatrizes de queimadas contêm focos de calor. Apesar de poucas cicatrizes de queimadas detectadas (cerca de 35,8%), estas representam 82,45% do total de áreas mapeadas. Isto indica que muitas das cicatrizes pequenas foram omitidas e que a maioria detectada representa grandes áreas.

No entanto, segundo Batista (2004), há necessidade de aperfeiçoar sistemas de detecção de queimadas, utilizando a análise de vários outros parâmetros, que associados aos focos de calor obtidos das imagens de satélites, propiciem um aumento da precisão na detecção de incêndios e áreas queimadas. Também, de acordo com Batista (2004), é necessário que sejam intensificadas as pesquisas visando desenvolver algoritmos e modelos que possibilitem um melhor desempenho na detecção de incêndios através de imagens de satélites.

Outros trabalhos como Pereira et al. (2012); Tomzhinski et al. (2011); de Jesus et al. (2011), também comparam os dados de focos de calor com imagens de sensoriamento remoto com o objetivo de análise e validação. Cada trabalho possui abordagens distintas, mas basicamente relacionam focos de calor com cicatrizes de incêndios nas imagens das respectivas áreas de estudo.

Autores como Xaud et al. (2009), de Alencastro Graça et. al. (2012); Alverga et al. (2013); Soares e Pereira (2015) também avaliaram a presença de cicatrizes assim como suas características. Contudo, a caracterização espectral dos sinais de pós-fogo, ou cicatrizes deixadas pelos incêndios, foi considerado por Chuvieco e Congalton (1988) como ponto de partida para a pesquisa sobre sensoriamento remoto das áreas queimadas. Desta forma, Pereira et al. (1999) propõem uma série de classificações para áreas de cicatrizes em função

das respostas espectrais para diversos comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Como exemplo dos resultados obtidos por Pereira et al. (1999), têm-se a Figura 01, com a resposta espectral de áreas queimadas estudadas por estes autores, caracterizando a classe de cinzas, carvão, vegetação (*Pinus pinaster*) verde e queimada.

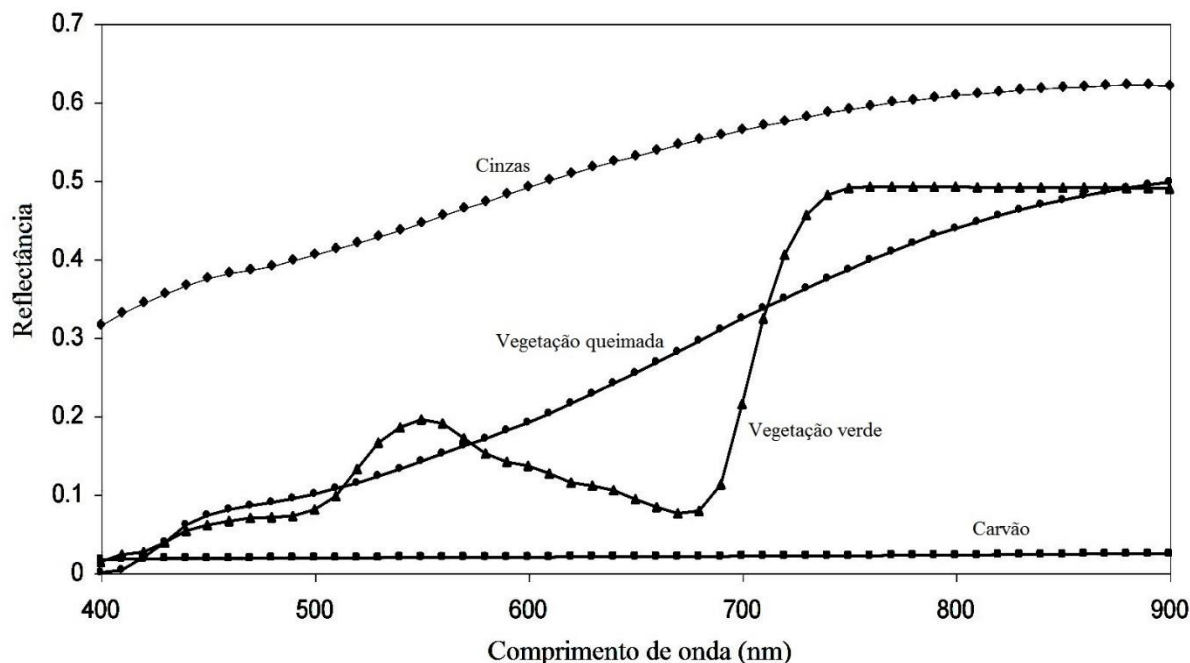


Figura 01 – Respostas espectrais de áreas pós-fogo. Fonte: Adaptado de Pereira et al. (1999).

É possível encontrar na literatura uma vasta quantidade de trabalhos que tratam sobre a utilização de sensoriamento remoto e monitoramento ambiental. Alguns destes tratam sobre casos de monitoramento de desastres, como no caso de incêndios. Contudo, normalmente, estes trabalhos têm enfoque principalmente na identificação e caracterização das cicatrizes dos incêndios. Diferentemente, esta presente pesquisa atenta-se ao monitoramento de incêndios com base na identificação e caracterização da presença de fogo e incêndios ainda ativos. Sendo assim, este trabalho visa apresentar um caso de monitoramento de incêndio ocorrido em 2014, no estado do Tocantins – Brasil, utilizando imagens do satélite recém-lançado Landsat 8. Outra contribuição importante deste trabalho, assim como de Pereira et al. (1999), está na caracterização da resposta espectral do fogo ativo, em função das bandas espectrais dos sensores presentes no satélite Landsat 8, e não apenas da cicatriz causada pelo incêndio.

2. Metodologia

O satélite Landsat 8 possui a bordo dois sensores: *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). Respectivamente, esses dois instrumentos coletam dados utilizando nove faixas de ondas curtas e duas bandas térmicas de ondas longas. Os sensores do Landsat 8 operam no visível, infravermelho próximo, infravermelho de ondas curtas e espectros de infravermelho termal.

O sensor OLI coleta dados de nove bandas espectrais. Sete das nove faixas são consistentes com a Thematic Mapper (TM) e Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), que prevê a compatibilidade com os dados históricos do Landsat. Duas novas bandas espectrais, sendo a Coastal Blue/Aerosol profunda e a Infravermelho Cirrus, permitindo medir a qualidade da água e melhorar a detecção de altas nuvens finas.

Os dois sensores (OLI e TIRS) fornecem imagens com resolução espacial de 30 metros (bandas do visível e infravermelho), 100 metros para as bandas do termal, e 15 metros para a banda pancromática. A resolução radiométrica das imagens do Landsat 8 é de 16 bits e a resolução temporal, ou seja, a revisita do satélite sobre determinada área é de 16 dias (NASA - Landsat Science, 2015).

Este trabalho utilizou as bandas do visível e infravermelho do Landsat 8 para a detecção de incêndios. Várias combinações de bandas foram testadas para melhor identificação visual de incêndios, chegando-se a combinação para o RGB das bandas 7, 6, 2, uma vez que esta combinação destaca visualmente os incêndios, mas mantém as características da vegetação nas imagens.

A localização da imagem utilizada neste trabalho é apresentada na Figura 02, correspondente à órbita/ponto 222/066 do Landsat 8, no estado do Tocantins, Brasil, integrante da área da Amazônia Legal.

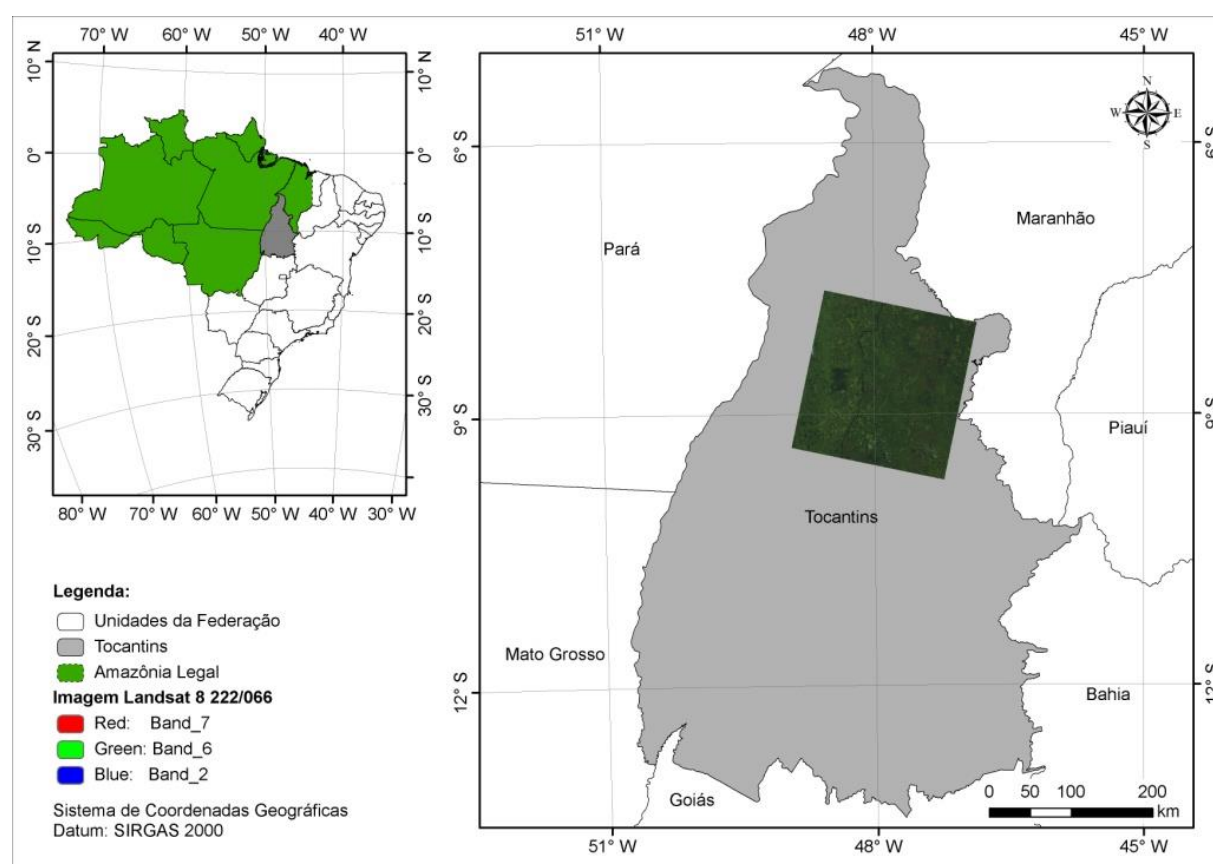


Figura 02 – Localização da imagem utilizada na detecção de incêndios utilizando o Landsat 8, órbita/ponto 222/066.

3. Resultados e discussão

Neste trabalho foi realizada a identificação do incêndio ocorrido no Estado do Tocantins, Brasil, sendo possível detectar um incêndio de grandes proporções na data 24/08/2014. Verificou-se ainda sua evolução na data seguinte de revisita do Landsat 8, no dia 09/09/2014.

O incêndio detectado é apresentado na Figura 03.

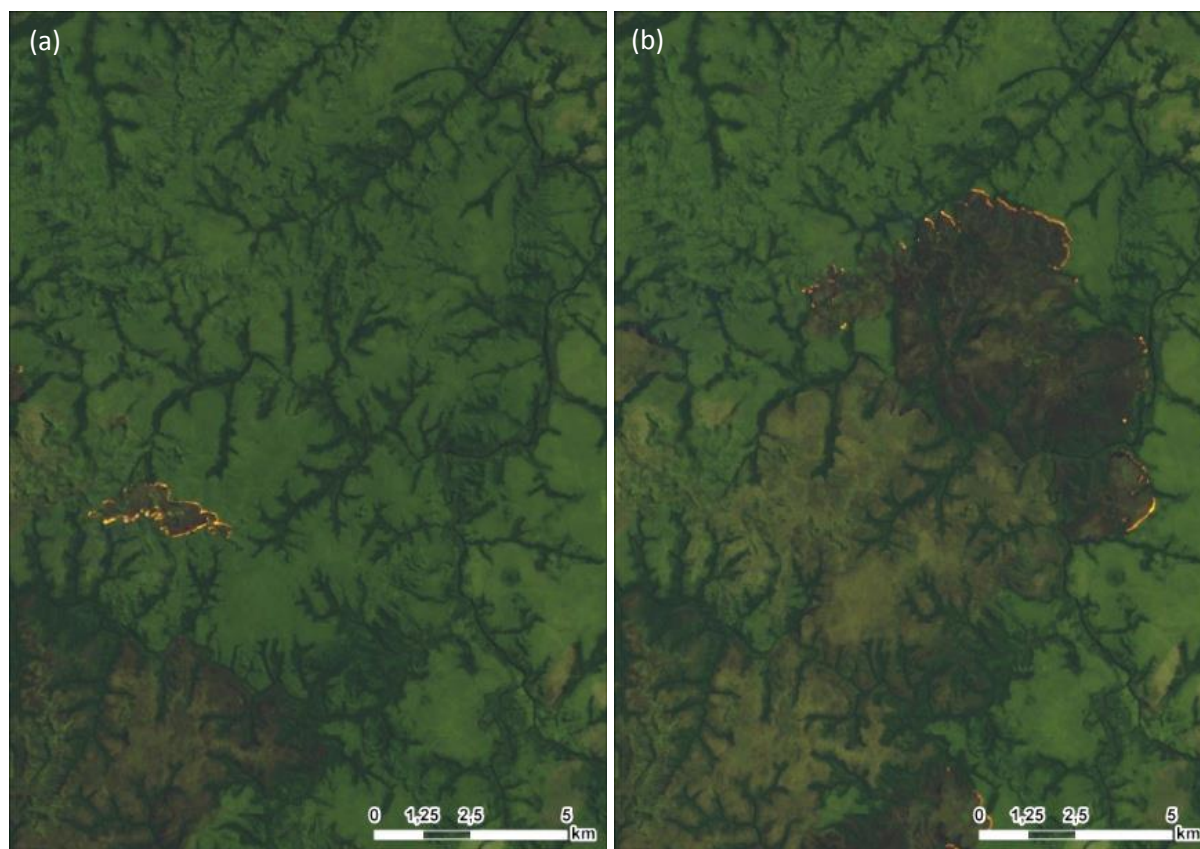


Figura 03 – Evolução do Incêndio entre passagens consecutivas do Landsat 8. (a) 24/08/2014; (b) 09/09/2014. Combinação de bandas R7G6B2.

Com esta combinação de bandas (R7G6B2) do satélite Landsat 8 é possível verificar a presença do incêndio na Figura 03. Sobretudo, é possível verificar que a resposta do incêndio difere completamente do restante da paisagem.

Uma característica que pode ser ressaltada neste incêndio é a sua proporção, sendo que, na Figura 03a já é possível verificar um incêndio em torno de 2 km de comprimento e 1km de largura, com duas frentes de fogo, sendo uma em direção nordeste e outra em direção sudoeste. Já na Figura 03b, é possível verificar que, além da área já queimada, têm-se uma frente de fogo quase circular com aproximadamente 10km de diâmetro.

Na Figura 03 também é possível verificar a evolução do incêndio ao longo dos 16 dias de resolução temporal do Landsat 8, 24/08/2014 e 09/09/2014. Com a evolução do incêndio nestes 16 dias, observa-se que a área queimada por este incêndio aproxima-se de 100km². Ainda, nota-se a diferença na característica da cicatriz deixada por este incêndio, representando a “idade” da cicatriz, da mais antiga para a mais atual, na Figura 3b.

Porém, muitos trabalhos focam na identificação de cicatrizes deixadas pelas queimadas e poucos na identificação do fogo ativo em si. Desta forma, de maneira a identificar e analisar as respostas espectrais do fogo ativo, em função das bandas espectrais do satélite Landsat 8, apresenta-se a Figura 04, na qual foram plotadas as respostas espectrais de cada pixel identificado com fogo ativo nas imagens Landsat 8 apresentadas na Figura 03.

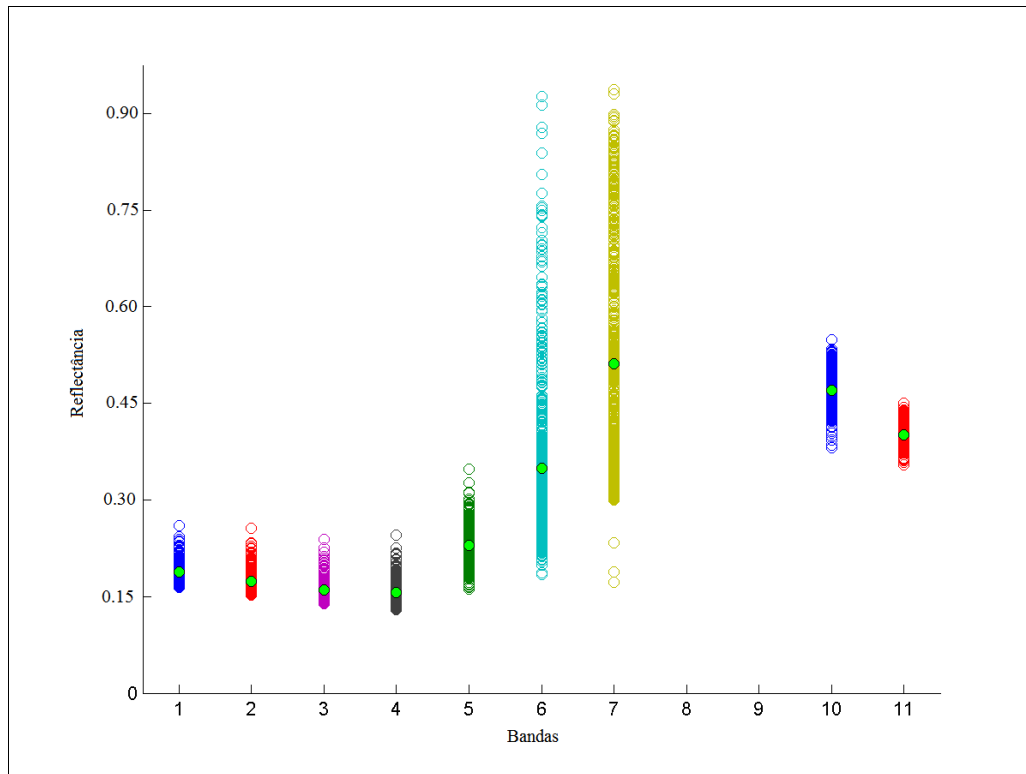


Figura 04 – Respostas espectrais dos pixels identificados como fogo ativo.

Fez-se apenas a plotagem referente às bandas 1 a 7 e 10 e 11, isto em função destas bandas apresentam a resolução espacial de 30m, o que permite a comparação entre as mesmas. A banda 8 não foi analisada neste estudo pois apresenta resolução espacial de 15m. Entretanto, esta banda 8 trata-se da banda pancromática, caracterizada pelo espectro eletromagnético semelhante às bandas 2 a 4. Ou seja, a resposta de reflectância pode ser considerada como similar à uma combinação das respostas das bandas 2 a 4. Também, a banda 9 foi retirada da análise pois trata-se da banda denominada *Cirrus*, que tem como objetivo de identificação deste tipo de formação de nuvens e ainda encontra-se em parte do espectro eletromagnético que não está presente em uma janela atmosférica.

Na Figura 04 percebe-se pixels que representam áreas de incêndio ainda ativo e apresentam respostas diferentes para cada banda dos sensores a bordo do Landsat 8, assim como para os comprimentos de onda do espectro eletromagnético. Ainda, para as bandas espectrais que representam o espectro do visível (bandas 1 a 4), as respostas espectrais não apresentam grande dispersão, tampouco valores elevados. Para as bandas do infravermelho, as respostas se apresentam distintas, uma vez que para a banda 5 – infravermelho próximo – as respostas espectrais apresentam os valores um pouco mais elevados e com maior dispersão dos dados. Porém, as maiores dispersões foram encontradas nas bandas 6 e 7, que representam regiões do infravermelho médio. As bandas do infravermelho distante, como as bandas 10 e 11, apesar de apresentarem respostas com valores mais elevados, apresentam menor dispersão dos dados.

Desta forma, e ainda com a presença da indicação do pixel de valor médio de resposta, é possível notar a tendência de resposta espectral de incêndios e fogo ativo. Ainda, é possível destacar que as bandas do infravermelho médio e termal apresentam valores elevados, o que pode facilitar na diferenciação dos pixels referentes a fogo ativo dos pixels referentes a outros usos e coberturas do solo. Contudo, com a dispersão dos dados acentuada nas bandas do infravermelho médio auxilia na caracterização dos tipos de pixels, quanto à intensidade e severidade do incêndio.

Destaca-se também que, nesta combinação de bandas, as características visuais da vegetação prevalecem, sendo possível perceber a diferenciação entre os tipos de vegetação, com especial destaque para áreas de mata ciliar acompanhando a forma dos corpos d'água, assim como as diferentes respostas e possível distinção entre as "idades" das cicatrizes deixadas pelos incêndios.

4. Conclusões

Conclui-se, primeiramente, que a combinação de bandas 7, 6, e 2 do Landsat 8 para o RGB se mostrou eficaz, sendo possível a visualização de incêndios, identificação das cicatrizes dos incêndios e suas extensões e a variação do tipo de vegetação. Confirma-se assim a possibilidade de utilização do Landsat 8 para o monitoramento ambiental, incluindo o monitoramento de incêndios.

Além disso, identificou-se a ocorrência de incêndios de grandes proporções para o Estado do Tocantins, Brasil, no ano de 2014. Este caso de incêndio apresentado foi primeiramente detectado em 24/08/2014, contendo 2km de comprimento e 1km de largura, chegando a uma frente de fogo de semi-círculo de 10km de diâmetro, em 09/09/2014. No intervalo entre 24/08/2014 e 09/09/2014, 16 dias de revisita do satélite, chegou-se a uma área queimada de aproximadamente 100km².

Os pixels identificados como fogo ativo foram selecionados e sua resposta espectral plotada. Foi possível a verificação da tendência de resposta espectral em função das bandas dos sensores presentes no satélite Landsat 8. Além da representação do valor médio das respostas por bandas, é possível identificar a dispersão dos valores para cada banda. Desta forma, com esta caracterização, seria possível a diferenciação entre incêndios e outras classes de uso e cobertura da terra, assim como graus de severidade dos incêndios.

Outros estudos serão desenvolvidos com relação à tal temática, uma vez que o monitoramento de incêndios pode auxiliar significativamente no controle e atenuação de perdas financeiras, ambientais, ou mesmo de vidas humanas.

5. Referências Bibliográficas

- Almeida-Filho, R. (2003). Um Sistema Brasileiro de Sensoriamento Remoto Orbital Dedicado à Questão Das Queimadas? Anais XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Belo Horizonte, Brasil. 05-10 abril 2003, INPE, p.2409-2414.
- Alverga, D. P., Brown, I. F., de Sousa Galvão, A., da Silva Nakamura, J. C., de Oliveira, V. D. (2013) Análise Exploratória das Cicatrizes de Incêndios Florestais de 2010 no Estado do Acre, Brasil. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- Batista, A. C. Detecção De Incêndios Florestais Por Satélites. Floresta 34 (2), 237-241 (2004).
- Chuvieco, E., Congalton, R. G. (1988). Mapping and inventory of forest fires from digital processing of TM data. Geocarto International, 3(4), 41-53.
- de Alencastro Graça, P. M. L., Vitel, C. S. M. N., Fearnside, P. M. (2012). Detecção de Cicatrizes de Incêndios Florestais Utilizando a Técnica de Análise por Vetor de Mudança na Terra Indígena Sete de Setembro-Rondonia. *Ambiência*.
- de Jesus, S. C., Setzer, A. W., Morelli, F. (2011). Validação de Focos de Queimadas no Cerrado em Imagens TM/Landsat-5. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.8051.

dos Santos, T. P., de Moraes, L. M. (2014). Aplicação de Ferramentas de Geoprocessamento no Auxílio do Monitoramento da Qualidade dos Recursos Hídricos em Silveira Martins. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 18(1), 467-482.

Formaggio, A. R., Shimabukuro, Y. E. Queimadas na Amazônia Oriental em anos de Seca Extrema: fontes de combustível e propágulo de incêndios florestais. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

Gontijo, G. A. B., Pereira, A. A., Oliveira, D. S. O., Júnior, F. W. A. (2011). Detecção de queimadas e validação de focos de calor utilizando produtos de Sensoriamento Remoto. *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, p. 7966-7973.

Meneses, P. R., Almeida, T. D. (2012). *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: UNB/CNPq.

Moreira, M. Identificação de Reflorestamentos por Meio da Análise Quantitativa de Imagens Orbitais Landsat. 1984. 65 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1984.

Morelli, F., Libonati, R., Setzer, A. (2007). Refinamento de um Método de Área Queimada, e Validação Utilizando Imagens CBERS no Norte de Mato Grosso, Brasil. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE (pp. 4485-4492).

NASA, Landsat Science, 2015. Disponível em <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3186>>. Acesso em: 15 de junho 2015.

Pereira, A. A., Pereira, J. A. A., Morelli, F., Barros, D. A., Acerbi Junior, F. W., Scolforo, J. R. S. (2012). Validação de Focos de Calor Utilizados no Monitoramento Orbital de Queimadas por Meio de Imagens TM. *Cerne, Lavras*, 18(2), 335-343.

Pereira, J. M., Sá, A. C., Sousa, A. M., Silva, J. M., Santos, T. N., Carreiras, J. M. (1999). Spectral Characterisation and Discrimination of Burnt Areas. In *Remote Sensing of Large Wildfires* (pp. 123-138). Springer Berlin Heidelberg.

Ribeiro, S. R. A., Santos, D. R., Centeno, J. S. (2002). Aplicação da Metodologia de Dados Orientado a Objeto na Classificação de uma Área Urbanizada, Utilizando uma Imagem Digital Obtida por meio da Tecnologia do Laser Scanner. *Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática*, 144-149.

Soares, T. B. O., Pereira, G. (2015) Aplicação da Imagem Fração Sombra no mapeamento de áreas queimadas nas proximidades de Áreas Protegidas em Minas Gerais. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

Tomzhinski, G. W. T., Coura, P. H. F., do Couto Fernandes, M. (2011). Avaliação da Detecção de Focos de Calor por Sensoriamento Remoto para o Parque Nacional do Itatiaia. *Biodiversidade Brasileira*, (2), 201-2011.

Xaud, H. A. M., da Conceição Bispo, P., Servello, E. L., Lima, A., Toledo, J. M. A., Formaggio, A. R. (2009) Detecção de cicatrizes de queimadas a partir de imagens MODIS-TERRA no Estado do Mato Grosso. *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 5523-5530.