

Avaliação de áreas queimadas a partir dos índices espectrais NDVI e NDBR

Francielle da Silva Cardozo¹
Flora da Silva Ramos Vieira Martins¹
Luciana de Oliveira Pereira¹
Luciane Yumie Sato¹
Yhasmin Mendes de Moura¹
Gabriel Pereira¹
Yosio Edemir Shimabukuro¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{cardozo, flora, luciano, lusato, yhasmin, gabriel, yosio}@dsr.inpe.br

Abstract. The wildfires are used in pasture renovation and deforestation practices, causing changes in the biosphere-atmosphere components. The monitoring of biomass burning is difficult due to the large scale of operation. Consequently, the use of remote sensing data is fundamental because they provide temporal and spatial coverage required for the monitoring and to analyze fires without field work. Therefore, the objective of this work is to map and to assess burned areas derived from NDVI and NDBR multispectral index in three images of TM/Landsat-5 for the July, August and September of 2010. We used the radiative transfer model 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum), to minimize atmospheric effects in sensor data acquisition. Moreover, we applied the radiometric normalization in Landsat-5 images and NDVI and NDBR index were estimated to detect and analyze the variation of burned areas and fire severity. Concerning about the two index used in this work, the Δ NDBR presented a better distinction of occurrence and fire severity. Also, we performed a comparison between manual mapping of burned areas and NDBR index. We estimated the total burned area in this local covering 768 km², which results showed that the Δ NDBR index presented a high competence to classification of burned areas and fire severity.

Palavras-chave: fires, environmental impacts, mapping, remote sensing, incêndios, impactos ambientais, mapeamento, sensoriamento remoto.

1. Introdução

As queimadas são utilizadas como práticas de renovações de pastagens e no desmatamento, provocando diversas alterações nas componentes biosfera-atmosfera (Crutzen e Andreae, 1990; Werf et al., 2006). Elas ocorrem no mundo à aproximadamente 450 milhões de anos, sendo que atualmente 90% são originadas pela ação do homem no ambiente (Andreae, 1991).

A época de maior incidência das queimadas no Brasil ocorre no período seco, entre os meses de junho a outubro. As queimadas provocam impactos ambientais, como o empobrecimento do solo, a perda da biodiversidade da flora e fauna e diversas alterações nos ciclos biogeoquímicos, no clima mundial, na química atmosférica (Andreae et al., 2004; Moraes et al., 2005).

O monitoramento de áreas queimadas se torna difícil devido a grande escala de atuação das mesmas, dependendo do tipo de análise, torna-se necessário a utilização de sensores que possuem uma boa resolução temporal e espacial, aliados a técnicas de processamentos de imagens. Neste quesito, o mapeamento das áreas queimadas e as informações quantitativas sobre as mesmas são muito importantes, tanto para o manejo florestal e dos recursos terrestres como para auxiliar na melhor representação das características físico-químicas e biológicas em modelos atmosféricos, melhorando o conhecimento acerca das mudanças climáticas (Zhan et al., 2002).

Para isso, o uso de dados de sensoriamento é de fundamental importância, pois fornecem a cobertura temporal e espacial necessária ao monitoramento e análise das queimadas sem a necessidade de intensos e caros trabalhos de campo (Miguel et al., 2010). Porém, no estudo de

queimadas, as informações obtidas pelos satélites possuem uma série de interferências que são intrínsecas aos processos de aquisição da imagem, entre elas pode-se destacar a interação da radiação eletromagnética (REM) com os gases radiativamente ativos presentes na atmosfera, a fonte de radiação, a contaminação das informações pelos pixels adjacentes, entre outros. Para tentar minimizar essas interferências, a reflectância *in band* dos canais do satélite (ρ_{bi}) são combinadas, originando diferentes índices, como por exemplo, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e o Índice de Queimada Normalizada (NDBR).

Sendo assim, o objetivo deste trabalho consistiu no mapeamento e análise das áreas queimadas a partir dos índices multispectrais de NDVI e NDBR em três imagens TM/Landsat5, referentes aos meses de julho, agosto e setembro de 2010 na órbita/ponto 221/71, que possui a cidade de Brasília como região central.

2. Área de Estudo

A área de estudo é composta por uma cena do sensor TM do satélite Landsat-5, órbita/ponto 221/71, coordenadas geográficas $15^{\circ}14' 16^{\circ}34'$ de latitude sul e $46^{\circ}53' 49^{\circ}04'$ de longitude oeste, localizando-se ao centro a cidade de Brasília, conforme Figura 1.

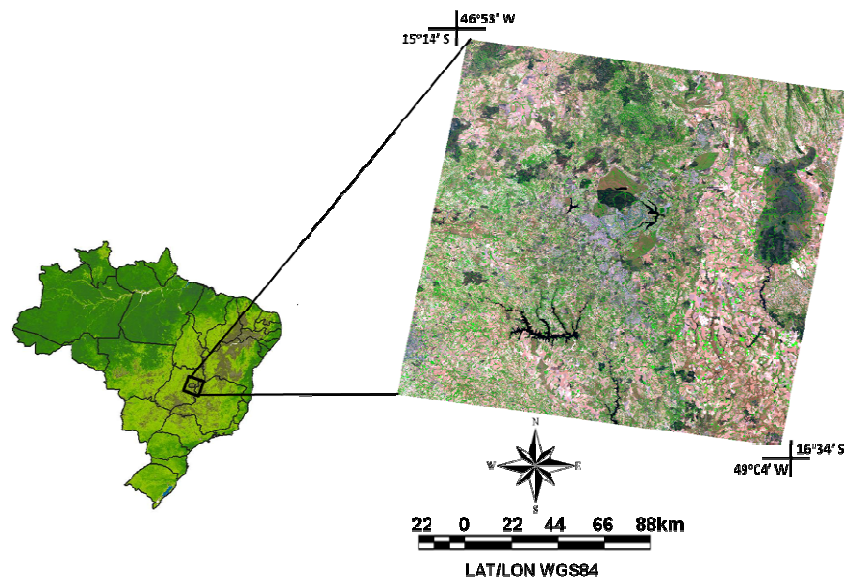


Figura 1. Localização da área de estudo.

Esta área é composta pelo Bioma Cerrado, caracterizado por possuir formações vegetais que variam de campos abertos até florestas densas que podem atingir 30 metros de altura. A vegetação de cerrado apresenta um conjunto variado de habitats e fitofisionomias, podendo ser estruturada em cinco tipos principais, como o Cerradão (formações florestais com dossel mais ou menos fechado); Cerrado *sensu stricto* (fisionomia densa de árvores e arbustos com até 12 metros de altura, dominado por um estrato herbáceo-graminoso); Campo Cerrado (vegetação arbóreo-arbustiva com presença de árvores que podem alcançar de 2 a 3 metros); Campo Sujo (composta basicamente por vegetação herbáceo-arbustiva); e Campo Limpo, predominantemente vegetação herbácea com uma presença muito pequena de arbustos (Coutinho, 1990; Eiten, 2001).

As queimadas no Cerrado têm sido investigadas há bastante tempo, porém, o estudo sobre a recorrência e a permanência das mesmas é bastante escasso. A ocorrência do fogo no Cerrado tem sido atribuída, principalmente, à causas antrópicas, devido à queima da vegetação para a criação de gado e à expansão da fronteira agrícola. Ainda, as queimadas no

Cerrado também podem ser atribuídas a outras causas, como o controle de pragas, descuidos no manejo do fogo, queda de balões, entre outros (Coutinho, 1990).

As queimadas geralmente se iniciam no mês de maio, que coincidem com o período seco (maio - setembro), observando-se um aumento nos meses de junho e julho e atingindo-se o número máximo em agosto (Lombardi, 2005). Durante o período úmido (primavera e verão), a ocorrência de queimadas é pouco usual, apesar da vegetação continuar suscetível à ocorrência das mesmas, sendo que o período de maior risco (condições atmosféricas favoráveis à propagação do fogo) inclui todo o mês de agosto e se estende até o começo de setembro (Coutinho, 1990).

Esta situação foi bem característica na área de estudo no ano de 2010, pois as queimadas ainda eram bem escassas no mês de junho, atingindo o seu auge de ocorrência e severidade nos meses de agosto e setembro.

3. Metodologia de Trabalho

Neste trabalho foram utilizadas quatro imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite Landsat-5, que possui resolução espacial nominal de 30 metros, 7 bandas espectrais (três no visível, uma no infravermelho próximo, duas no infravermelho médio e uma no infravermelho distante), 8 bits de resolução radiométrica e resolução temporal de 16 dias. As imagens utilizadas no trabalho referem-se à órbita/ponto 221/71, apresentando a cidade de Brasília como área central, dos dias 19/06/2010, 05/07/2010, 06/08/2010 e 23/09/2010. Essas datas foram escolhidas para analisar a variação temporal dos episódios de queimadas que ocorreram na região de estudo.

Foi utilizado o modelo de transferência radiativa 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*), com o intuito de minimizar os efeitos atmosféricos no sinal captado pelo sensor, assumindo como principais efeitos a absorção e o espalhamento da radiação eletromagnética (REM) pelos gases radiativamente ativos (Vermote, 1997). No modelo foram escolhidas a visibilidade atmosférica de 50 km, o modelo de aerossóis continental e o padrão de atmosfera tropical.

A comparação temporal de dados de séries radiométricas para obter a caracterização espectral de diferentes alvos fundamenta-se na compatibilidade radiométrica dos dados coletados ao longo do tempo (Hall et al., 1991; Canty et al., 2004). Portanto, foi realizado a normalização radiométrica das imagens das datas 19/06/2010, 05/07/2010 e 06/08/2010, em relação à imagem eleita como referência do dia 23/09/2010.

Após os procedimentos de correção atmosférica e normalização radiométrica dos dados, prosseguiu-se com a geração e análise das variações dos índices NDVI e NDBR. O NDVI é utilizado para medir o vigor vegetativo e monitorar a cobertura de uma dada superfície a partir das informações espectrais obtidas pelos satélites (Rouse et al., 1974). A variação do NDVI é calculada pela Equação 1:

$$\Delta NDVI = \left[\left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b3}}{\rho_{b4} + \rho_{b3}} \right)_{pre} - \left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b3}}{\rho_{b4} + \rho_{b3}} \right)_{pos} \right] \quad (1)$$

Nesta equação, ρ_{b4} e ρ_{b3} representam as reflectâncias nas bandas 4 (infravermelho próximo) e 3 (vermelho) do sensor TM/Landsat-5, respectivamente, e **pre** e **pos** representam as imagens anteriores e posteriores ao episódio de queimada.

O mapeamento de áreas queimadas a partir do índice NDBR foi desenvolvido por Koutsias e Karteris (1998), porém, a nomenclatura e o desenvolvimento da análise multitemporal foram realizados por Key e Benson (1999). Este índice utiliza a banda 4 e a banda 7, que apresentam o melhor contraste entre uma vegetação fotossinteticamente

saudável e uma vegetação queimada, além disso, verifica-se o aumento da reflectância na banda 7 e a diminuição da reflectância da banda 4 em situações de queimadas. Este índice é dado pela Equação 2:

$$\Delta NDBR = \left[\left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b7}}{\rho_{b4} + \rho_{b7}} \right)_{pre} - \left(\frac{\rho_{b4} - \rho_{b7}}{\rho_{b4} + \rho_{b7}} \right)_{pos} \right] \quad (2)$$

Similarmente à equação 1, ρ_{b4} e ρ_{b7} representam a banda 4 e 7 do sensor TM/Landsat-5, respectivamente, e **pre** e **pos** representam as imagens anteriores e posteriores ao episódio de queimada, sendo que neste trabalho, a imagem utilizada como anterior à queimada foi a do mês de julho, e as imagens de julho, agosto e setembro foram utilizadas como imagens pós queimadas. Estes índices foram calculados na linguagem de programação (LEGAL) do Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING).

4. Resultados e Discussões

A Figura 2 mostra a variação dos índices NDBR e NDVI para a região de Brasília nos meses de julho e setembro de 2010. Estes índices utilizam informações espectrais diferentes, portanto, apresentam características distintas. Os tons avermelhados representam a ocorrência de queimadas mais severas e os tons brancos indicam áreas que não se alteraram. Os tons azulados representam principalmente áreas agrícolas, caracterizadas pelos pequenos círculos no setor direito da imagem (pivôs centrais), indicando o crescimento do vigor vegetativo, ou seja, a ocorrência de um novo plantio, já os tons vermelhos nessas áreas indicam a diminuição do vigor vegetativo, podendo ser explicados por áreas de cultivos colhidos, áreas muito tempo expostas à secas e, principalmente, áreas queimadas.

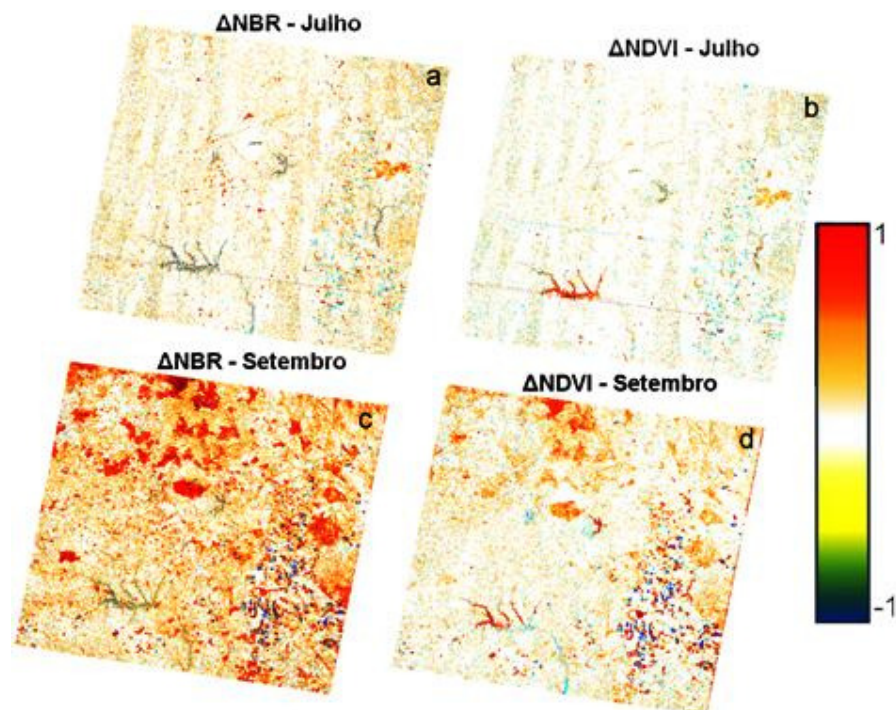


Figura 2. Índices $\Delta NDBR$ de julho (a), $\Delta NDVI$ de julho (b), $\Delta NDBR$ de setembro (c) e $\Delta NDVI$ de setembro (d) para a região de Brasília.

Pode-se notar na Figura 2 (a) e 2 (b) que, para o mês de julho de 2010, entre os dois índices utilizados, o Δ NDVI apresenta áreas mais homogêneas, sendo que o Δ NDBR distinguiu melhor as áreas queimadas. Em relação à Figura 2 (c) e 2 (d), referente ao mês de setembro de 2010, é notável a evolução da ocorrência das queimadas na área de estudo, sendo que novamente o índice Δ NDBR obteve a melhor distinção das áreas das queimadas, não só em relação à ocorrência, mas também em relação à severidade das mesmas.

No mês de setembro, as áreas queimadas que apresentaram um alto índice de severidade, segundo a Figura 2 (c), se localizam próximas à cidade de Brasília, região central da cena, abrangendo o Parque Nacional de Brasília, que queimou praticamente a metade neste mês. Ainda, podem-se notar queimadas severas na região norte da cena, próximas à cidade de Mimoso de Goiás – GO, e na região leste da cena, principalmente na área que abrange o campo de instrução do exército em Formosa – GO, área preservação que obteve uma grande variabilidade em relação à ocorrência das áreas queimadas do mês de julho a setembro.

Por este motivo, foi realizado um mapeamento manual das áreas queimadas neste local nos meses de julho (áreas em cinza), agosto (áreas em bege) e setembro (áreas em marrom claro) (Figura 3). Portanto, as Figuras 3 (a) representam imagens dos meses de julho, agosto e setembro, do sensor TM/Landsat-5, composição 3B4G5R com contraste, de uma área de preservação localizada próxima da cidade de Formosa – GO. As Figuras 3 (b) mostram os índices Δ NDBR aplicados para os mesmos meses e as Figuras 3 (c) mostram o mapeamento das áreas queimadas realizado manualmente para os três meses analisados.

Em relação ao mês de julho, nota-se que o índice Δ NDBR mostrou grande eficiência na classificação das áreas queimadas, possuindo uma grande similaridade com o mapeamento manual, sendo que para este mês, as queimadas possuíam 137 km² de extensão. Em relação ao mês de agosto, o índice Δ NDBR o mapeamento realizado manualmente também foram bem semelhantes, sendo que para este mês as queimadas obtiveram um incremento de 80 km² de extensão.

Finalmente, para o mês de setembro, nota-se que o índice Δ NDBR também foi bastante parecido com o mapeamento manual, com exceção de algumas áreas que foram mapeadas e que o índice não detectou. Porém, salienta-se que o cerrado possui uma grande resposta em relação à precipitação, portanto, essas áreas não detectadas pelo índice possivelmente já estavam em regeneração, mas como ainda havia resquícios de cicatrizes de queimadas, as mesmas foram mapeadas manualmente.

O incremento das áreas queimadas para o mês de setembro foi de 551 km² de extensão, e ao total, a ocorrência das áreas queimadas do mês de julho ao mês de setembro foi de 768 km² de extensão apenas para esta área. Levando em consideração o entorno, que abrange toda a cena do TM estudada, ou mesmo se forem contabilizadas todas as queimadas ocorridas no Brasil no ano de 2010, nota-se que as mesmas possuíam uma imensa área de abrangência e certamente de severidade, provocando muito impactos nas áreas afetadas.

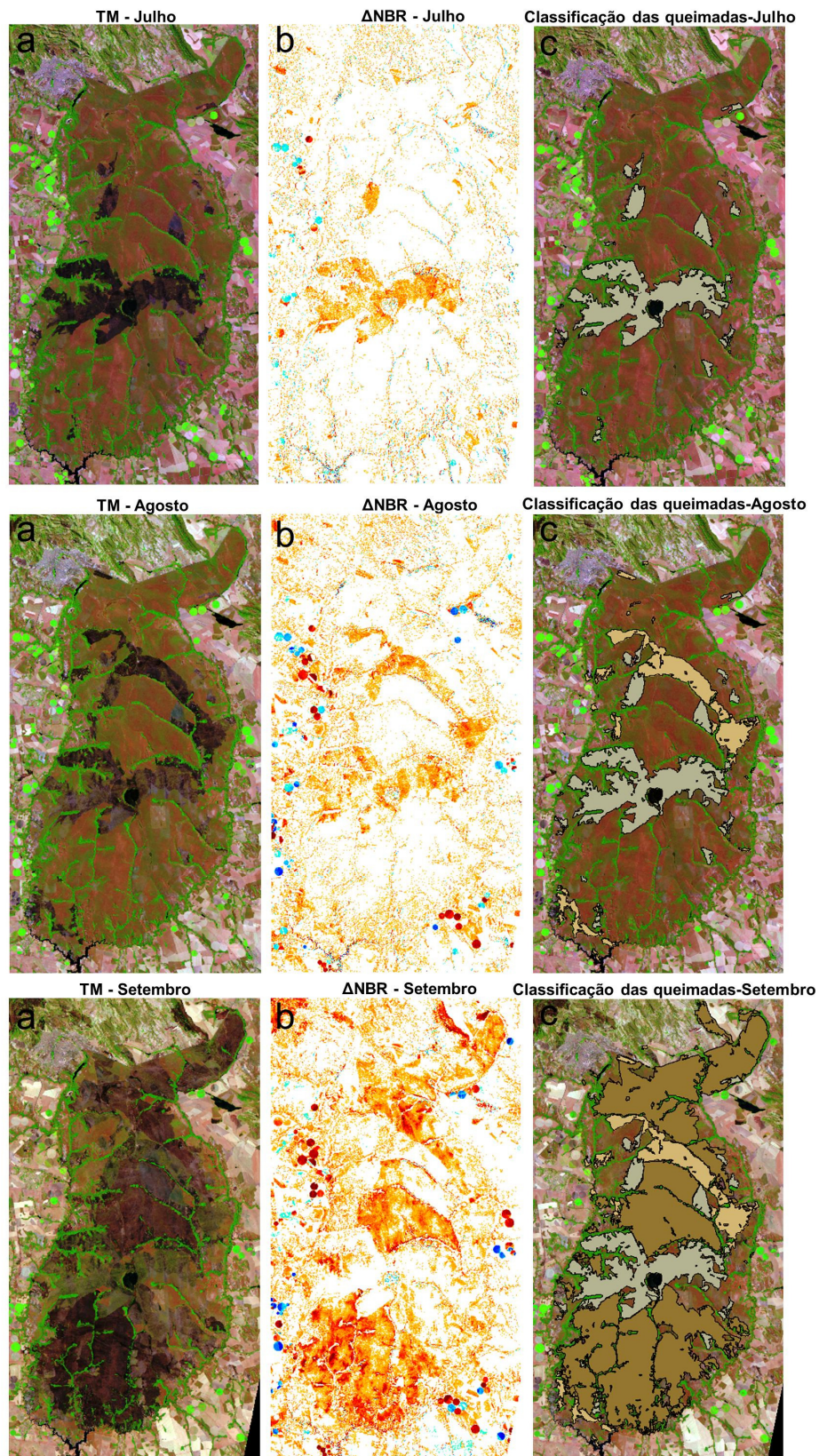


Figura 3. Imagens TM/Landsat-5, composição 3B4G5R para os meses de julho, agosto e setembro (a); índices Δ NDBR de julho, agosto e setembro (b); e classificação das áreas queimadas para os meses de julho, agosto e setembro (c).

5. Conclusões

As queimadas que ocorrem no cerrado têm sido atribuídas principalmente à causas antrópicas, especialmente com a queima da vegetação para a criação de gado e para a expansão da fronteira agrícola.

O período de atuação ocorre no mês seco, com o início a partir do mês de maio, sendo que em junho e julho há um aumento das ocorrências, com o auge das queimas no mês de agosto. Notou-se na área de estudo que as queimadas possuíram seu início a partir do mês de junho, possuindo o seu auge de abrangência no mês de setembro.

Em relação aos dois índices utilizados no trabalho, pode-se notar que o Δ NDBR distinguiu melhor as áreas queimadas, tanto em relação à ocorrência quanto à severidade. Ao total as áreas queimadas na área teste de estudo abrangeram 768 km² de extensão, sendo que os resultados mostraram que o índice Δ NDBR mostrou uma alta eficiência na classificação das áreas queimadas, possuindo grande similaridade com o mapeamento realizado.

Referências

Andreae, M. O. Biomass burning: its history, use, and distribution and its impact on environmental quality and global climate. **In:** Levine, J. S. (Ed.), *Global Biomass Burning*. The MIT Press, Cambridge, MA, pp. 3–21, 1991.

Andreae, M.; Rosenfeld, D.; Artaxo, P.; Costa, A.; Frank, G.; Longo, K. M.; Silva Dias, M. A. F. Smoking rain clouds over the Amazon, **Science**, v. 303, p. 1342-1345, 2004.

Canty, M. J. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 91, p. 441-451, 2004.

Coutinho, L. M. O Cerrado e a ecologia do fogo. **Ciência Hoje**, v. 12, n. 68, p. 22-30, 1990.

Crutzen, P. J.; Andreae, M. O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **Science**, 250, 1669 - 1678, 1990.

Eiten, G. **Vegetação natural do Distrito Federal**. Brasília: SEBRAE/DF, 2001.

Hall, F; G. et al. Radiometric rectification: toward a common radiometric response among multitemporal, multisensor images. **Remote Sensing of Environment**, v. 35, p. 11-27, 1991.

Key, C. H.; Benson, N. **The Normalized Burn Ratio (NDBR): A Landsat TM radiometric measure of burn severity**. 1999. Disponível em: <www.nrmc.usgs.gov/research/ndbr.htm>. Acesso em: 19 nov. 2010.

Koutsias, N.; Karteris, M. Logistic regression modelling of multitemporal Thematic Mapper data for burned area mapping. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, p. 3499–3514, 1998.

Lombardi, R. J. R. Estudo da recorrência de queimadas e permanências de cicatrizes do fogo em áreas selecionadas do cerrado brasileiro, utilizando imagens tm/landsat. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 172 p., 2005.

Moraes, E. C.; Franchito, S. H.; Brahmananda Rao, V. Evaluation of surface air temperature change due to the greenhouse gases increase with a statistical-dynamical model, **Journal of Geophysical Research**, v. 110, n. D24109, p. 1-8, 2005.

Pereira, G.; Cardozo, F. S.; Arai, E.; Moraes, E. C.; Ferreira, N. J.; Freitas, S. R. Avaliação de áreas queimadas a partir de índices espectrais derivados de dados orbitais. **Geografia** (Rio Claro), v. 33, p. 513-525, 2008.

Rouse, J. W.; Haas, R. H.; Shell, J. A.; Deering, D. W.; Harlan, J. C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. **Final Report**, NASA/GSFC, Greenbelt, MD, 371 p., 1977.

Vermote, E. F.; Tanre, D.; Deuze, J. L.; Herman, M.; Morcrette, J. J. Second Simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 35, n. 3, p. 675-686, 1997.

Werf, G. R.; Randerson, J. T.; Giglio, L.; Collatz, G. J.; Kasibhatla, P. S.; Arellano Jr., A. F. Interannual variability in global biomass burning emissions from 1997 to 2004. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 6, p. 3423–3441, 2006.

Zhan, X.; Sohlberg, R. A.; Townshend, J. R. G.; DiMiceli, C.; Carroll, M. L.; Eastman, J. C.; Hansen, M. C.; DeFries, R. S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, 83, p. 336 – 350, 2002.