

# **Análise da suscetibilidade da vegetação a incêndios florestais no estado de Minas Gerais**

Viviane Valéria da Silva  
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ  
Francielle da Silva Cardozo  
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ  
Gabriel Pereira  
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ  
Gustavo Domingos Zanin  
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ  
Julio Cezar Costa  
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ  
Leonardo Cristian Rocha  
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ  
Múcio do Amaral Figueiredo  
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ  
Paulo Ricardo Ruffino  
Universidade Federal de São João del-Rei - UFSJ

## **Resumo**

Esse trabalho possui como objetivo a utilização de produtos orbitais para investigar a suscetibilidade da vegetação à queima, bem como a relação da condição da vegetação com a recorrência de incêndios e o volume da precipitação no estado de Minas Gerais nos anos de 2000 a 2015. A pesquisa foi desenvolvida partindo da aquisição e processamento de dados orbitais provenientes do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) e dados de precipitação provenientes do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM). A metodologia consistiu na geração de mapas de médias anuais do Vegetation Condition Index (VCI) a partir do produto MOD13A3 do sensor MODIS para a análise da suscetibilidade da vegetação à queima; geração de dados anuais de precipitação acumulada a partir do produto 3B43 do TRMM e geração de mapas anuais de focos66 de incêndios obtidos a partir dos produtos MYD14 e MOD14 do sensor MODIS. Embora a condição da vegetação e sua suscetibilidade à queima esteja diretamente relacionada com a influência da precipitação, notadamente o estudo mostra que o uso e ocupação da terra é o fator crucial em relação as ocorrências de queimadas.

**Palavras-Chave:** MODIS. Queimadas. VCI.

## **Abstract**

This work aims to analyze the use of orbital products to investigate the vegetation susceptibility to the burning, as well as the relation of vegetation condition to the fire recurrence and the precipitation volume in Minas Gerais State from 2000 to 2015 years. The research was developed from the acquisition and processing of orbital data from the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) sensor and precipitation data from Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite. The methodology consisted in the generation of annual average maps of Vegetation Condition Index (VCI) from MOD13A3 product of MODIS sensor to analyze the vegetation susceptibility to the burnings; generation of annual accumulated precipitation data from TRMM satellite and generation of annual fire location maps from MYD14 and MOD14 products of MODIS sensor. Although the vegetation condition and its susceptibility to burnings are directly related to the precipitation influence, the results shows that the land use and land cover is the crucial factor in relation to the occurrence of fires.

**Keywords:** MODIS; Burned Areas; VCI.

viviane.silva.ufsj@gmail.com  
franciellecardozo@ufsj.edu.br  
pereira@ufsj.edu.br  
zanin@ufsj.edu.br  
juliooczcta@gmail.com  
rochageo@ufsj.edu.br  
muciofigueiredo@ufsj.edu.br  
pauloricardoruffino@gmail.com

## Introdução

As áreas florestais naturais possuem importante papel na ciclagem de nutrientes essenciais à vida e estão entre os ambientes naturais que mais sofrem com os impactos ambientais. Dentre os problemas ambientais mais comuns e mais severos que ocorrem na vegetação pode-se citar as queimadas. Estudos realizados nesse contexto afirmam que sua magnitude atinge a marca de 100 mil a 300 mil focos de calor a cada ano no território brasileiro (SETZER et al., 2007; MÜLLER et al., 2012).

O estado de Minas Gerais, bem como diversas regiões do Brasil e do mundo, é frequentemente atingido por queimadas. Tais eventos alcançam maior abrangência principalmente nas estações mais secas e acarretam diversos desequilíbrios, entre eles: prejuízo econômico, perda de diversidade de flora e fauna, destruição de recursos naturais e modificações na qualidade do ar. Além do prejuízo causado pelo fogo *in loco*, os gases e partículas liberados no processo da queima de biomassa contribuem para o aumento do efeito estufa, podendo gerar consequências em termos locais, regionais e globais (RIVEIRA-LOMBARDI, 2009). De acordo com estudos realizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), o número de focos de incêndios florestais vem crescendo constantemente e atingindo dimensões significativas. A exemplo do ano de 2015, de acordo com o INPE, foram registrados no estado de Minas Gerais 10.593 focos de incêndios detectados por sensoriamento remoto.

O estado de Minas Gerais possui em seu território domínios fitogeográficos da Mata Atlântica, do Cerrado e da Caatinga, ou seja, possui uma vasta extensão que apresenta diferentes domínios e áreas de transição de biomas que possuem grande importância para o equilíbrio da biodiversidade (VELOSO et al., 2012). Dessa maneira, diante de um vasto território e uma grande variedade de domínios fitogeográficos, a utilização do sensoriamento remoto apresenta inúmeras vantagens em relação aos métodos convencionais. Nesse contexto, a utilização do sensoriamento remoto e as técnicas de geoprocessamento para obtenção de dados tem se tornado uma prática frequente e essencial para o monitoramento da superfície da terra e suas dinâmicas. Tratam-se de técnicas eficientes, rápidas, assertivas e de baixo custo. Além disso, a utilização de imagens de satélite apresenta como outra vantagem a resolução espacial e temporal (frequência da obtenção dos dados), o que permite a realização de um monitoramento constante da superfície em escala adequada.

Além disso, as técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas para a caracterização da dinâmica da cobertura vegetal em áreas extensas a partir da disponibilidade de dados como os índices de vegetação, tornando possível a modelagem de parâmetros biofísicos da vegetação e a análise de detalhes como a radiação, a biomassa verde e a condição geral da vegetação (JENSEN, 2009). Assim, as alterações temporais do estado da vegetação podem ser detectadas a partir dos índices de vegetação que combinam as bandas do vermelho e infravermelho próximos do espectro eletromagnético (ROSENDO, 2005).

Desse modo, ressalta-se a importância da utilização de um sistema de monitoramento por meio de sensoriamento remoto, pois as informações disponíveis são detalhadas e atualizadas tornando-se uma fonte de dados primordial para trabalhos de prevenção, pois analisando a susceptibilidade da cobertura vegetal à ocorrência de queimadas pode-se em alguns casos prever o risco, estimar e planejar medidas preventivas (SOARES, 1985).

O sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) está a bordo das plataformas espaciais Terra e Aqua e disponibiliza produtos com

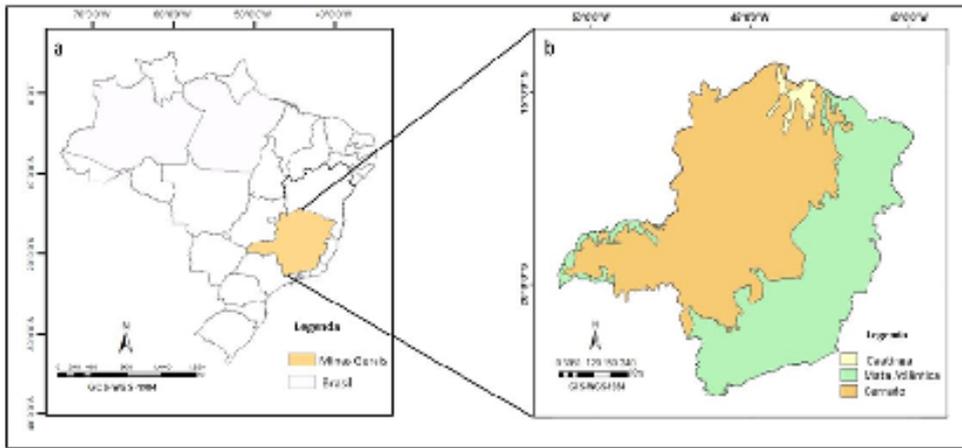
variedade de resolução espacial, gratuitas e corrigidas radiometricamente, o que minimiza a influência de nuvens e aerossóis que muitas vezes interferem na qualidade da imagem. Além disso, uma outra vantagem do sensor é possuir uma periodicidade curta, o que facilita a comparação entre as imagens (ROSENDO, 2005). Para o estudo do estado da vegetação remotamente é a ferramenta mais adequada, pois a resolução espectral (36 bandas) combinada com a resolução espacial (250 metros) e a temporal (2 dias) são altamente favoráveis (JUSTICE et al., 2002a).

A análise comparativa do estado da vegetação nesse trabalho ocorreu por meio da geração do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, e do *Vegetation Condition Index* (VCI), ou Índice de Condição da Vegetação. Dessa maneira, os resultados objetivam a investigação da relação da condição da vegetação e a sua suscetibilidade a incêndios florestais no estado de Minas Gerais durante os anos de 2000 a 2015. Destaca-se também que para estabelecer importantes conclusões sobre a variabilidade da condição da vegetação foram utilizados dados de precipitação estimados por satélite, permitindo correlacionar a variabilidade do regime pluviométrico e sua relação com a condição da vegetação.

### Área de estudo

O estado de Minas Gerais está localizado na região Sudeste do Brasil, (Figura 1), é o maior em extensão territorial com área de 586.521,235 Km<sup>2</sup>, ocupando 6,9% do território brasileiro. O clima em Minas Gerais apresenta singular variabilidade, sendo desde clima do tipo Cwb, conforme classificação climática de Köppen (temperado com invernos frios e verões brandos) no sul do estado até BSwh (caracterizado como semi-árido) no extremo norte e nordeste do estado (ANTUNES, 1986; IBGE, 2013).

A heterogeneidade dos sistemas integrados entre relevo, clima e solo favoreceram a presença de três biomas brasileiros em sua extensão: o Cerrado, a Caatinga e a Mata Atlântica. Devido a essas características em seu território é possível encontrar uma significativa variação de domínios fitogeográficos (IEF, 2012).



**Figura 1- Localização da área de estudo.**

O Cerrado é o bioma predominante do estado de Minas Gerais com cobertura aproximada de 50% da área total, apresentando vegetação composta por gramíneas, arbustos e árvores de porte pequeno a médio, distribuídas de forma espaçada. O segundo maior bioma em dimensão territorial é a Mata Atlântica, sendo a porção remanescente da floresta ombrófila com vegetação densa, mangues e restingas. A porção do bioma da Caatinga presente em Minas Gerais representa aproximadamente 3% da área territorial total, localizado ao norte do estado, e apresenta vegetação com características espinhosas, secas, com pouca folhagem e adaptadas à escassez de água (IBGE, 2004; IEF, 2012).

## **Materiais e métodos**

Atualmente estão disponíveis produtos orbitais derivados de sensores a bordo de satélites específicos para análise ambiental. O MODIS é um sensor a bordo de satélite Terra e Aqua que está em órbita geoestacionária e fornece produtos (dados) que permitem o monitoramento da dinâmica global, incluindo os índices de vegetação.

Os dados estimados pelo sensor são distribuídos gratuitamente pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Tratam-se de observações de toda a superfície terrestre adquiridas em 36 bandas, em diferentes grupos de resolução espacial, que variam respectivamente de 250 metros, 500 metros e 1000 metros e a faixa imageada é de 2.330 km. O Sensor MODIS abrange uma extensa gama de funções e se destaca dentre os sensores da plataforma Terra e Aqua por possuir características especiais para análise da cobertura espacial e espectral, pois foi projetado para corresponder às necessidades de estudos sobre atmosfera, oceano e terra (JUSTICE et al., 2002b).

O sensor MODIS fornece produtos que auxiliam nos processos de detecção das mudanças da cobertura terrestre (LATORRE et al., 2003). Entretanto, distintos produtos possuem aplicações voltadas especificamente para cada finalidade. Neste sentido, para esse trabalho utilizou-se os produtos MOD13, MOD14 e MYD14. O produto MOD13 apresenta os índices de vegetação, dentre eles o NDVI. O produto MOD13A3 fornece o valor do Índice de Vegetação (IV) com base no algoritmo gerado a partir do melhor pixel adquirido e o maior valor de NDVI para a mesma região para um período de 16 dias com resolução espacial de 1 km. Ou seja, a partir de dados mensais, esse algoritmo processa várias composições e realiza um cálculo para a média mensal (SILVA, 2004).

Os produtos MOD14 e MYD14 fornecem arquivos com dados referentes aos focos de queimadas. Denominados produtos de fogo, o MYD14 e o MOD14 são produtos que executam o imageamento em bandas chamadas *Thermal Anomalies and Fire*. Os dados referentes aos focos são oriundos da plataforma Terra e recebem o prefixo MOD, os dados com prefixo MID são oriundos da plataforma Aqua, e ambos fornecem dados diários. O imageamento é realizado nos horários de 10:30 e 22:30 para o MOD e às 13:30 e 1:30 para o MYD (JUSTICE et al., 2002b; GIGLIO, 2010).

Os dados de precipitação podem ser estimados por meio de medições meteorológicas e por meio de Sensoriamento Remoto. Os instrumentos voltados para a estimativa da precipitação por meio de sensoriamento remoto permitem, além da integração de banco de dados, uma facilidade de acesso e atualização dos dados. O *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) é um satélite que foi lançado em 1997 em uma missão conjunta entre a NASA e a *Japan Aerospace Exploration Agency* (JAXA) com objetivo de monitorar, estudar e estimar a precipitação nos trópicos (NASA, 2015).

As informações coletadas pelo satélite TRMM abrangem uma vasta área, compreendendo entre 50° N e 50° S. A resolução temporal se divide em três partes: horária (3B42), diária (3B42 derivada) e mensal (3B43). A resolução espacial para os três produtos é de 0,25° x 0,25° (0,25 m) e possui dois sensores principais: *Microwave Imager* (TMI) e o *Precipitation Radar* (PR). O produto 3B42 gera estimativas de precipitação diárias a cada três horas e o produto 3B43, utilizado para esse trabalho, é o produto mensal do algoritmo 3B42 (COLLISCHONN et al., 2007; BANZE, 2016).

Com o objetivo de avaliar a recorrência de focos na região nordeste e norte do estado de Minas para os anos de 2000 a 2015, foi utilizada uma imagem do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do Satélite *Landsat 8*, órbita 217, ponto 072 do dia 09 de setembro de 2015, disponibilizada gratuitamente pelo site: <https://earthexplorer.usgs.gov>. As imagens do *Landsat 8* possuem resolução espacial de 30 metros e período de revisita a cada 16 dias. Desse modo, foi possível a averiguação do tipo de uso e cobertura da terra na região que é frequentemente afetado por focos de queimadas.

## Procedimentos metodológicos

Com o intuito de apresentar os dados com um intervalo significativo, definiu-se o espaço temporal de 2000 a 2015 para serem analisados. Os dados do sensor MODIS para Minas Gerais foram adquiridos do site: <http://lpdaac2.usgs.gov/landdaac/tools/modis/index.asp>, e para a leitura e reprojeção desses dados foi utilizado o aplicativo *Modis Reprojection Tool* (MRT), também disponibilizado sem custos pelo mesmo site na internet. Assim, é possível modificar o formato computacional original dos arquivos para *Tagged Image File Format* (TIFF), que é um formato mais usual e que permite a posterior modificação da projeção para LAT/LON com *Datum* WGS84, uma vez que para o tamanho da área de estudo seria a mais indicada.

Os produtos MODIS são gerados em estrutura de grade, com tamanho e área fixa. O recorte que representa cada cena de uma imagem denomina-se *tile*, e cada *tile* possui uma referência vertical e horizontal. Os *tiles* gerados pelo produto MOD13A3 são disponibilizados em *Hierarchical Data Format* (HDF) para agrupamento de resultados mensais. Foram utilizados quatro *tiles* das imagens MODIS (h14v11, h14v10, h13v11 e h13v10), que foram convertidas em um único

arquivo META e inseridos no programa *Grid Analysis and Display System* (GrADS) para avaliação do NDVI, que posteriormente foram processados por meio de um *script* para a confecção de mapas com os dados do *Vegetation Condition Index* (VCI).

O índice NDVI resulta dos dados de reflectância utilizando a razão normalizada entre as bandas do vermelho e infravermelho próximo, cujos valores variam entre -1 e 1, sendo que o índice próximo a zero corresponde a áreas com menos vigor vegetativo, e áreas que absorvem toda a radiação (água) podem apresentar valores negativos (MENESES e ALMEIDA, 2012). O NDVI foi calculado a partir da **equação 1**, proposta por Rouse et al., 1974.

$$NDI = \frac{(\text{Infravermelho} - \text{Vermelho})}{(\text{Infravermelho} + \text{Vermelho})} \quad (1)$$

A partir dos dados de NDVI foi aplicado o índice VCI, que foi o índice utilizado para analisar a condição de suscetibilidade da vegetação à queima. Desenvolvido por Kogam (1990), o índice é calculado por meio da aplicação da equação 2.

$$VCI = \frac{(NDV_{max} - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDV_{min})} \times 100 \quad (2)$$

Os resultados do VCI são apresentados em valores que variam de 0 a 100, expressos percentualmente. Conforme Coleve (2011), mediante o resultado desse índice pode-se considerar as classes: 0 a 20% extremamente seco; 20 a 40% seco; 40 a 60% condição normal; 60 a 80% condição boa; e de 80 a 100% condição ótima. Portanto, os valores médios, mensais e anuais de VCI foram gerados a partir dos valores máximo e mínimo de NDVI.

Os dados para determinar os focos de queimadas detectados em Minas Gerais foram gerados para o período de 2002 até 2015. Embora o satélite Terra tenha sido lançado em 1999 e o Aqua em 2002, os produtos de fogo foram disponibilizados de maneira sistemática a partir de 2002 (MORISSETTE et al., 2005).

Desse modo, a aquisição dos dados contendo as informações de queimadas ocorreu a partir do download em *File Transfer Protocol* (FTP), ou Protocolo de Transferência de Arquivos. Esses arquivos são disponibilizados gratuitamente no formato HDF, sendo necessária a aplicação de programas no *Interactive Data Language* (IDL), que é uma linguagem de programação usada para análise de dados, ou em FORTRAN, que é uma linguagem de programação utilizada para operações matemáticas para converter o formato original dos arquivos em formato *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII), contendo as mesmas informações presentes nos produtos em HDF (PEREIRA et al., 2010).

Em relação aos dados mensais de precipitação, foram utilizados os produtos 3B43 provenientes do satélite TRMM. Os produtos são disponibilizados em formato binário pela NASA e podem ser adquiridos no site: <https://disc.gsfc.nasa.gov>. Os arquivos são lidos no GrADS, uma ferramenta interativa para visualização e análise de dados meteorológicos, desse modo, foi possível mensurar a variabilidade espacial e temporal da precipitação para Minas Gerais durante o

período do estudo (NÓBREGA et al., 2008).

## Resultados e discussões

O índice de precipitação acumulado para a série 2000-2015 (Figura 2) foi baseado em estimativas de precipitação por sensoriamento remoto e apresentou considerável variação entre os anos. Desta forma, percebe-se o ano de 2009 com o maior índice no volume de precipitação (1575 mm) e o ano de 2014 com o menor índice (1045 mm), coincidindo com os resultados de VCI e de focos ativos de incêndios. Os índices de precipitação são de grande relevância para o estudo da condição da vegetação, segundo estudos realizados por Jackson (2005), os dados de precipitação adquiridos pelo TRMM relacionados aos Índices de Vegetação enfatizam a condição da vegetação e à sua suscetibilidade aos incêndios. Assim, a correlação desses diferentes dados potencializa a eficácia dos métodos utilizados.

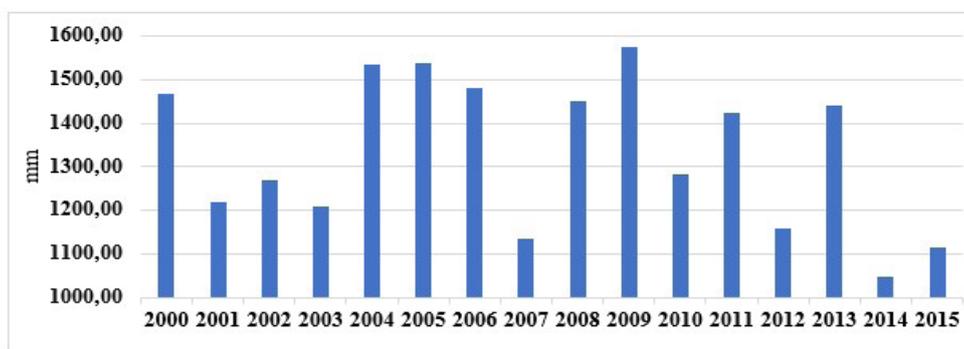


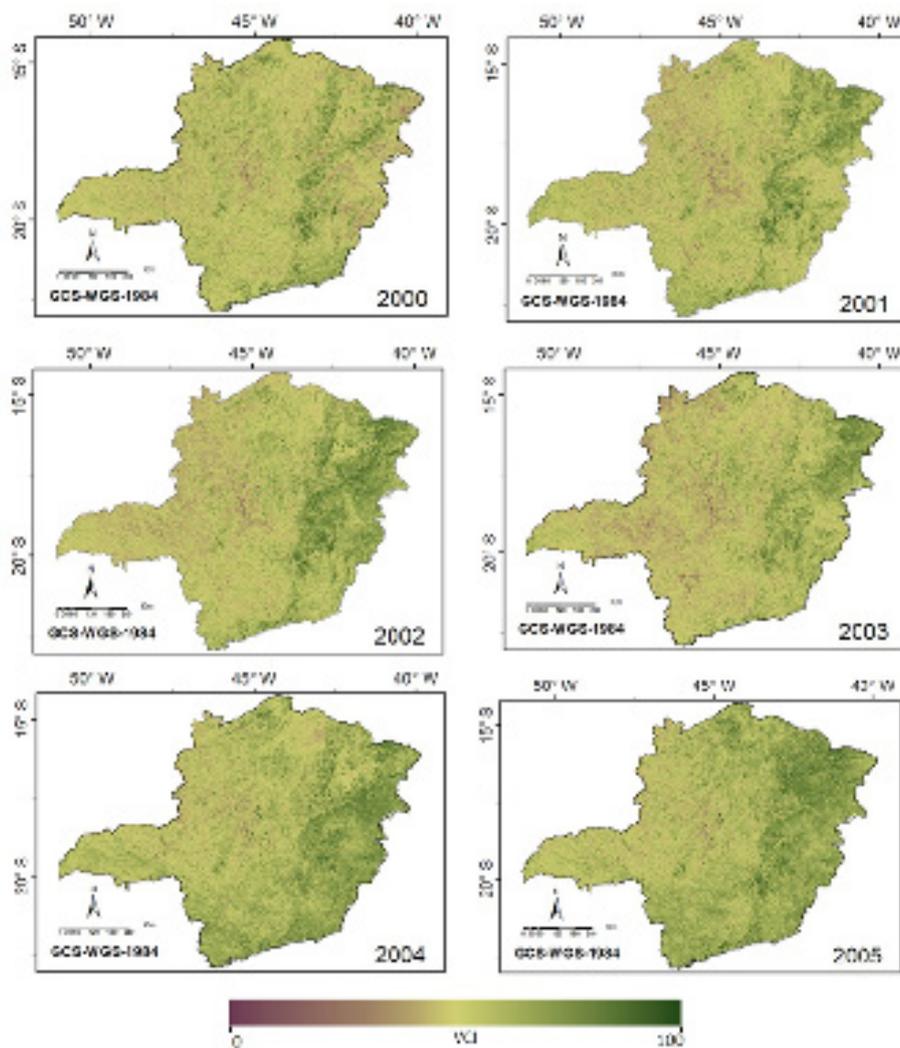
Figura 2: Precipitação acumulada para Minas Gerais de 2000 a 2015.

A Figura 2 mostra os os mapas de VCI para os anos de 2000 a 2005. Percebe-se que o resultado da variação na resposta espectral de um ano para outro é bastante perceptível. Embora os valores de VCI variem significativamente entre os períodos secos e chuvosos, para esse trabalho foram utilizadas as médias anuais para posterior comparação entre os focos de calor e precipitação acumulada. De modo geral, nota-se que a resposta espectral da vegetação para anos que ocorreram mais precipitação apresenta-se com os tons acentuados de verde no mapa, e para anos com menor precipitação a vegetação apresenta tons de amarelo à magenta, desta forma, quando menor o índice VCI, menor é o vigor vegetativo.

Para a série temporal constante na figura 3, os anos de 2003 e 2005 se destacam por apresentarem as menores e maiores taxas de precipitação, respectivamente (para esse período analisado). Desse modo, o ano de 2003 apresentou precipitação média de 1209 mm, e o cenário observado apresenta uma vegetação bastante seca ao longo do ano, portanto com VCI bem baixo. Essa condição é exibida na maior parte da área de estudo e apresenta valores de VCI que variam de 0% a 60%, demonstrando uma vegetação extremamente seca nas áreas em tom magenta, uma vegetação seca nas áreas em tons laranja e vegetação com condição normal em tons amarelos. Nota-se que a vegetação que apresenta tonalidade verde, representando um VCI que indica condição boa e ótima se localiza na faixa leste do estado, inserida no bioma Mata Atlântica.

Em relação ao ano de 2005, a precipitação acumulada foi de 1538 mm, e pode ser observado no mapa uma vegetação com umidade superior à observada nos anos anteriores, sendo que na maior parte da área de estudo ela se apresenta

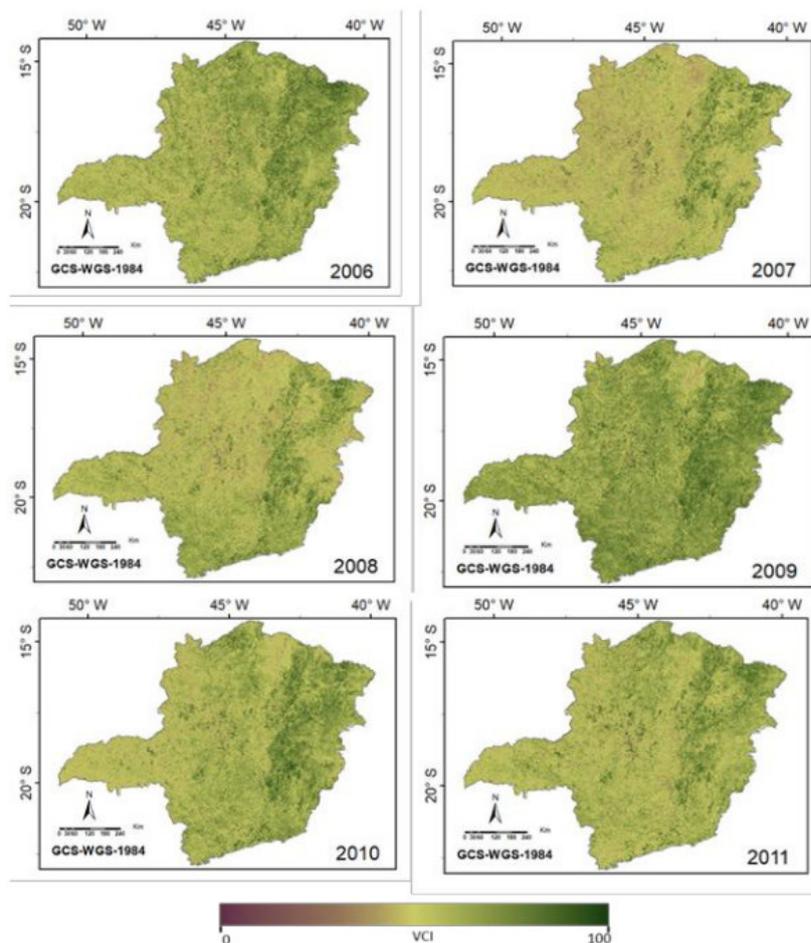
com condição que varia de normal à ótima, sendo que as áreas de vegetação extremamente seca se localizam em uma pequena parte da área central do estado.



**Figura 3: Média anual do VCI para Minas Gerais estimado pelo sensor MODIS nos anos de 2000 a 2005.**

A Figura 3 mostra os mapas de VCI para os anos de 2006 a 2011, com destaque para o ano de 2009, que apresentou a maior taxa de precipitação acumulada (1575 mm) para todos os anos, e para o ano de 2007, que apresentou uma das menores taxas de precipitação (1135 mm) para todo o período. Como pode ser percebido no mapa, o ano de 2009 apresentou a maior taxa de precipitação nos 16 anos analisados, denotando um alto vigor vegetativo na maior parte do estado, representado pela cor verde no mapa, indicando uma vegetação com em maioria com condição boa e ótima.

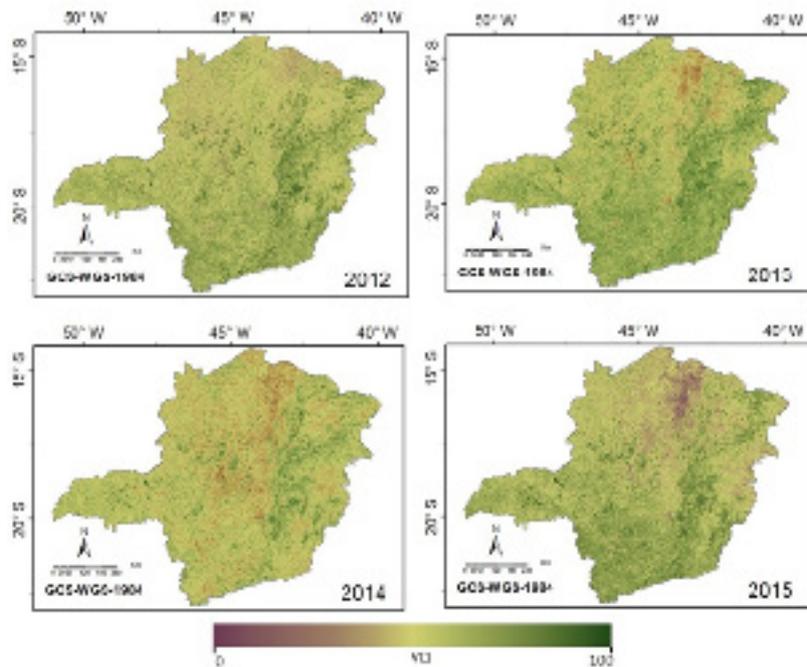
Da mesma forma, percebe-se que o ano de 2007 apresenta condição bem diferente, já que o índice de precipitação foi menor, indicando áreas com um vigor vegetativo mais baixo e mais suscetíveis à ocorrência de queimadas, principalmente na área central do estado, onde a condição da vegetação se inseria entre seca e extremamente seca, representada pela cor magenta.



**Figura 4: Média anual do VCI para Minas Gerais estimado pelo sensor MODIS nos anos de 2006 a 2011.**

A Figura 4 mostra os mapas de VCI para os anos de 2006 a 2011, sendo que o ano de 2014 se destacou por apresentar o menor índice de precipitação acumulada de toda a série temporal. Percebe-se que nos anos de 2013, 2014 e 2015 os valores de VCI se apresentaram extremamente baixos em algumas áreas da região central do estado e principalmente na região norte da área de estudo, onde está inserido o bioma Caatinga, apresentando vegetação com características mais secas e que são mais adaptadas ao estresse hídrico.

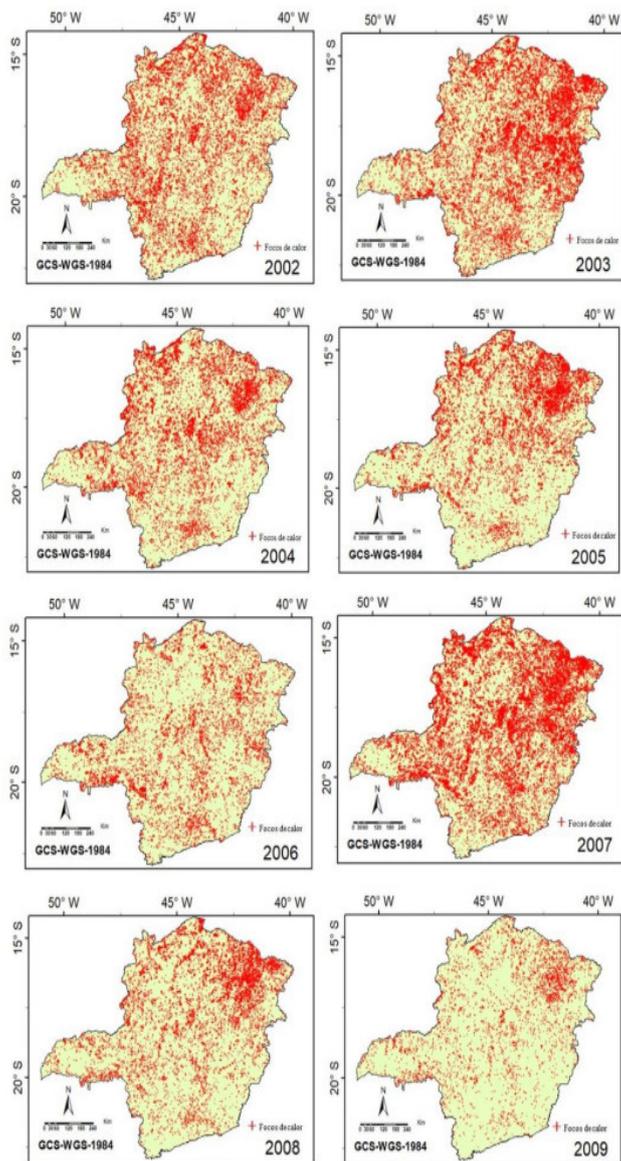
Em relação ao ano de 2014, nota-se no mapa que o baixo índice de precipitação provocou uma grande diminuição no vigor vegetativo em praticamente todo o estado, sendo que apenas algumas áreas localizadas na faixa leste do bioma Mata Atlântica apresentaram condição boa e ótima de VCI. Esse resultado corrobora com a realidade do problema de escassez hídrica que ocorreu no país, e conforme os dados da Agência Nacional de Água (ANA) 55% dos municípios brasileiros sofreram algum tipo de déficit de abastecimento em 2014 e 2015. O resultado foi o colapso no abastecimento de grandes cidades e mudanças nos valores cobrados por energia elétrica. O ano de 2015 apresentou um alto estresse hídrico na vegetação na região norte do estado, representado pelo baixo valor de VCI (cor magenta). Entretanto, as áreas localizadas no bioma Mata Atlântica apresentaram valores altos de VCI em praticamente todos os anos, já que o índice pluviométrico nessas áreas é maior e a vegetação é mais densa e com mais presença de água.



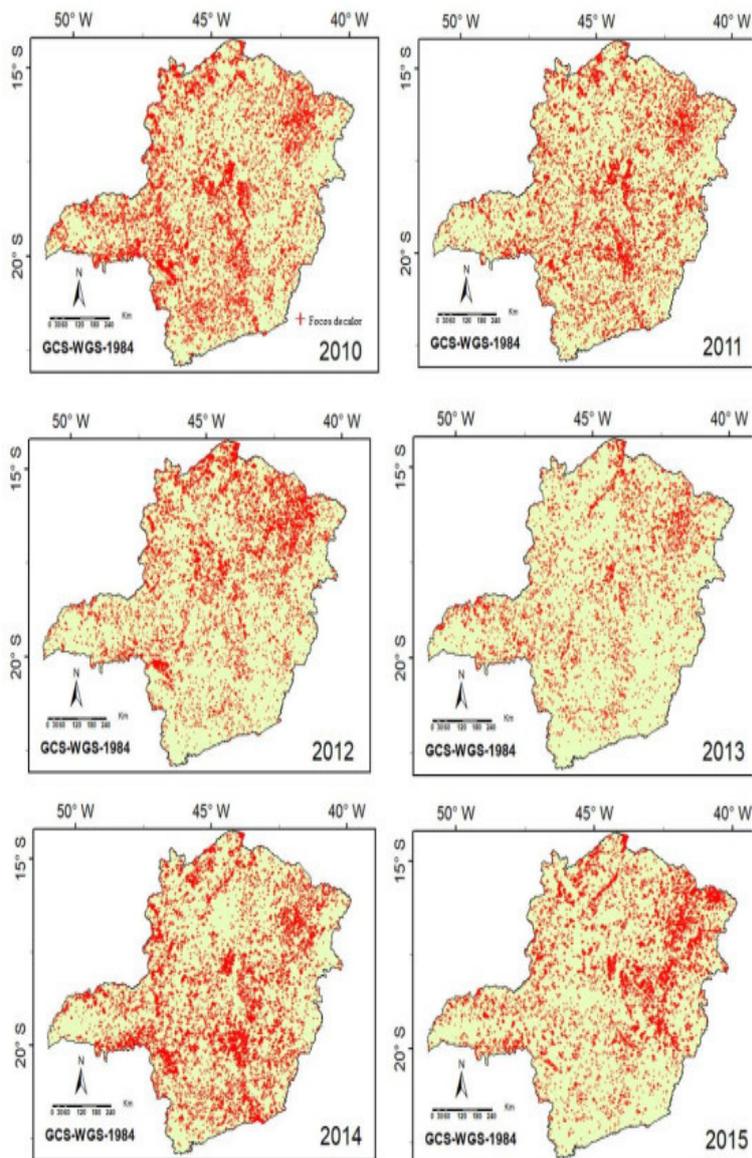
**Figura 5: Média anual do VCI para Minas Gerais estimado pelo sensor MODIS nos anos de 2012 a 2015.**

A Figura 6 mostra os mapas de focos detectados para os anos de 2002 a 2009, e a Figura 7 mostra os mapas de focos detectados para os anos de 2010 a 2015. A espacialização dos focos de queimadas é importante para localizar as áreas onde houveram recorrência de focos. Sendo assim, esses resultados permitem pontuar os eventos, observar a dinâmica das queimadas, estimar as consequências e possibilitam comparações temporais e elaboração de estratégias emergenciais e mitigatórias. Para espacializar os focos no estado de Minas Gerais, foram gerados mapas anuais com a soma dos resultados mensais dos focos obtidos pelos sensores termiais.

Para a série temporal do estudo, o ano de 2003 foi o ano com o maior número de registros de focos, totalizando em torno 16.238, seguido dos anos de 2007, com total de 14.026 focos de incêndio e 2014, com 12.343 focos. O ano de 2009 apresentou a menor ocorrência de focos de queimadas em todos os anos, totalizando 4.406 focos, coincidindo com o ano de maior taxa de precipitação.

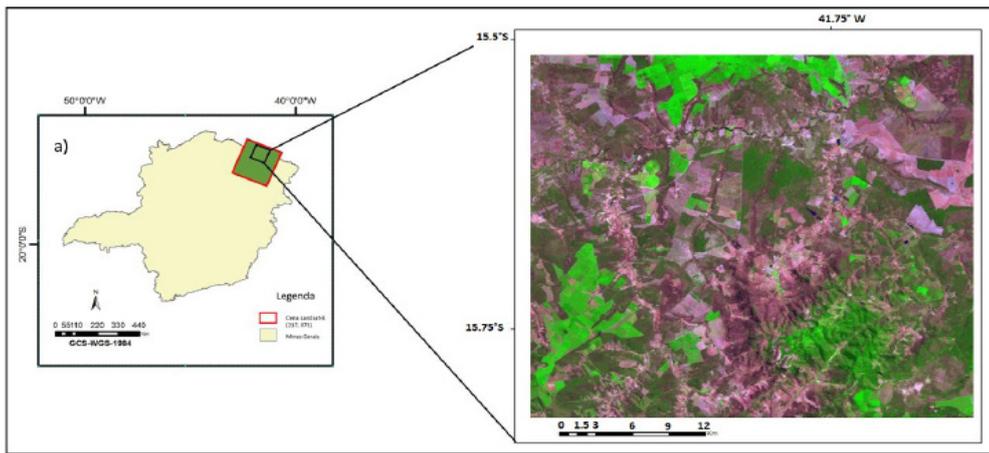


**Figura 6: Distribuição espacial dos focos de queimada estimados pelos sensores MODIS (2002 a 2009).**



**Figura 7: Distribuição espacial dos focos de queimada estimados pelos sensores MODIS (2010 a 2015).**

Embora as espacializações dos focos de calor tenham apresentado uma notória variação entre os anos da pesquisa, a região da porção nordeste e norte do estado de Minas Gerais apresentou incidência elevada no número de focos para todos os anos. Sendo assim, foi realizado uma verificação utilizando uma imagem do Satélite *Landsat 8* que possibilitou a averiguação de detalhes dessa região. Vale ressaltar que na região norte estão localizados importantes Unidades de Conservação, entre eles os de maiores extensões territorial do estado, como o Parque Estadual Caminhos das Gerais (56.236,61 ha), Parque Estadual Serra Nova (49.892,33 ha) e Parque Estadual Grão Mogol (28.404,57 ha) (IEF, 2014).



**Figura 8:** Áreas agrícolas localizadas na região norte da área de estudo.

Segundo Simões de Castro et al., (2010), pode-se constatar que o notável aumento da área plantada e mudanças no uso da terra ocorrem principalmente devido à expansão do agronegócio. Nesse contexto, utilizando um recorte da imagem *Landsat* 8 (Figura 8) determinou-se o local cuja recorrência de focos foi evidenciada durante os anos da pesquisa com a finalidade de averiguação. O recorte da imagem *Landsat* abrangeu uma área de aproximadamente 1085 km<sup>2</sup> e possibilita observar que se trata de áreas de uso agrícola. À vista disso, a significativa quantidade de focos detectados pelo sensor MODIS nessa área e em seu entorno são provenientes da utilização da prática de queimadas para manejo das pastagens e limpeza da área agricultável.

### Considerações finais

Numerosos trabalhos vêm sendo discutidos sobre a análise e monitoramento de secas empregando o uso do NDVI. Entretanto, a gestão de eventos de seca ainda não é efetivamente suficiente ao passo que auxiliem em ações de prevenção de incêndios florestais. Nesse sentido, esse trabalho teve como foco principal discutir a viabilidade do uso do sensoriamento remoto para estimar a suscetibilidade da vegetação a incêndios florestais de acordo com a caracterização da vegetação em condições úmidas ou secas, portanto, a maior propensão da vegetação à inflamabilidade na ausência ou diminuição da água em sua estrutura.

Os resultados obtidos mostraram que a utilização do sensoriamento remoto para estimar a suscetibilidade da vegetação à queima a partir de índices espectrais mostraram a viabilidade da correlação dos resultados com dados de precipitação e de uso da terra. Desta forma, percebe-se que a área de estudo é submetida a processos de queimadas todos os anos, e foi detectado a reincidência dos incêndios e os elevados números de focos na região norte onde há a transição entre os biomas da Mata Atlântica e Cerrado, sobretudo em uma região onde vem ocorrendo acelerado avanço da exploração do agronegócio de acordo com o demonstrado pela imagem *Landsat*.

Diante disso, fica evidente que a relação da condição da vegetação é fortemente determinada pelo regime de precipitação, porém, o mesmo não ocorre ao correlacionar a ocorrência de focos de queimadas com a precipitação, já que em alguns anos a taxa de precipitação mais baixas não necessariamente apresentaram o maior número de focos. Desta forma, o fator predominante e primário das

ocorrências das queimadas provém da modificação do uso e cobertura da terra a partir de práticas das queimadas como instrumento de manejo agropastoril. Assim, o uso recorrente dessa prática resulta comumente na perda do controle do fogo, afetando áreas que extrapolam os limites das lavouras e aumentando o processo da queima e consequentemente a emissão de gases poluentes para atmosfera.

Em particular, a utilização do sensoriamento remoto para análise da condição da vegetação e sobretudo para monitoramento de queimadas é um fator de grande relevância para planejamento de ações de controle, visto que possibilita análise antecipada indicando as áreas mais suscetíveis para as quais o combate preventivo ao fogo deve ser priorizado (ARAÚJO, 2010) a fim de evitar prejuízos tanto ambientais quanto econômicos.

## Referências bibliográficas

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do estado de Minas Gerais: climatologia agrícola. *Informe Agropecuário*, v.12, p. 9-13, 1986.

ARAÚJO, F. M. *Mapeamento de áreas queimadas no bioma cerrado a partir de dados MODIS MCD45A1*. 2010. 103 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

BANZE, B. E. *Avaliação dos Modelos de Estimativa de Precipitação do TRMM em Moçambique*. Dissertação (Mestrado em Ciências Atmosféricas), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

COVELE, P. A. Aplicação de índices das condições de vegetação no monitoramento em tempo quase real da seca em Moçambique usando NOAA\_AVHRR-NDVI. *GEOUSP: Espaço e Tempo* (Online), n. 29, p. 85-95, 2011.

COLLISCHONN, B. 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.

GIGLIO, L. MODIS collection 5 active fire product user's guide version 2.4. *Science Systems and Applications*, Inc, 2010.

IBGE - *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Banco de dados por Estado 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil/=mg>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2018.

IBGE - *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*. Mapa de Biomas e de Vegetação. 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>> Acesso em: 13 fevereiro 2018

IEF - *Instituto Estadual de Florestas*. Minas Gerais: IEF, 2014 Gestão de Unidades de Conservação de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/areas-protegidas/parques-estaduais>. Acesso em 10 fevereiro 2018

IEF - *Instituto Estadual de Florestas*. Minas Gerais: IEF, 2012. Cobertura vegetal de Minas Gerais. Disponível em: <http://www.ief.mg.gov.br/florestas>. Acesso em 10 fevereiro 2018.

INPE - *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*. Programa de Queimadas. Monitoramento por satélite. Disponível em: <https://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas>. Acesso em de 18/03/2018.

JACKSON, T. Passive microwave remote sensing of soil moisture and regional drought monitoring. In: *Predicting Agricultural Drought: A Global Study*. Oxford University Press, 2005. cap. Passive Mi, p. 897.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres*. São José dos Campos: Parêntese, 2a ed., 598 p., 2009.

JUSTICE, C. O., L GIGLIO, S. KORONTZI, J.T.MORISSETTE, D.P. ROY, J.DESCLAITRES, S. ALLEUME, F.PETICOLIN, Y. KAUFMAN. The MODIS fire products. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, n. 1, p. 244-262, 2002. (a)

JUSTICE, C.O., J.R.G.TOWNSHENDA, E.FVERMOTE, E.MASUOKA, R.E.WOLFE N.SALEOUS, D.P.ROY, J.T MORISSETTE. An overview of MODIS

Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, 2002. (b)

KOGAN, F. N., 1990, Remote sensing of weather impacts on vegetation in non-homogeneous areas. *International Journal of Remote Sensing*, 11, 1405 – 1420

LATORRE, M., ANDERSON, L. O., SHIMABUKURO, Y. E., DE CARVALHO JUNIOR. Sensor MODIS: Características gerais e aplicações. *Revista Espaço e Geografia*, v. 6, n. 1, 2003.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. D. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

MORISSETTE, J. T., GIGLIO, L., CSISZAR, I., JUSTICE, C. O. Validation of the MODIS active fire product over Southern Africa with ASTER data. *International Journal of Remote Sensing*, v. 26, n. 19, p. 4239-4264, 2005.

MÜLLER, M. M.; VACIK, H., DIENDORFER, G., ARPACI, A., FORMAYER, H., GOSSOW, H. Analysis of lightning-induced forest fires in Austria. Theoretical and Applied Climatology. *Geography*, v. 53, p. 258-270, 2012.

NÓBREGA, R. S.; DE SOUZA, Ê. P.; GALVÍNCIO, J. D. Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental. *Revista de Geografia* (Recife), v. 25, n. 1, p. 06-20, 2008.

PEREIRA, G.; CARDOZO, F. D. S., SILVA, F. B., SHIMABUKURO, Y. E., MORAES, E. C., FREITAS, S. R. D., FERREIRA, N. J. O uso da energia radiativa do fogo para estimar as emissões de queimadas para a América do Sul. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 28, n. 2, p. 155-164, 2010.

RIVEIRA-LOMBARDI, R. J. *Estimativa de Áreas Queimadas com Produtos MODIS como Subsídio à Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa pela Queima de Biomassa na Amazônia e Cerrado Brasileiros. 2009*. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2009.

ROSENDO, J. S. *Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari-MG-utilizando dados do sensor Modis*. Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

ROUSE, J. W.; HAAS JR., R. H.; DEERING, D. W.; SCHELL, J. A.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation, *NASA/GSFC type III final report*: Greenbelt, Maryland, NASA, 1974, 371 p.

SETZER, A., MORELLI, F., RIVEIRA-LOMBARDI, R. J. Estimativa quinzenal de áreas queimadas. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLHOS, J. C. *Sensor Modis e suas Aplicações Ambientais no Brasil*. São José dos Campos, 2007. 448 p.

SIMÕES DE CASTRO, S., ABDALA, K., APARECIDA SILVA, A., SANTOS BORGES, V. M. A expansão da cana-de-açúcar no cerrado e no estado de Goiás: elementos para uma análise espacial do processo. *Boletim Goiano de Geografia*, v. 30, n. 1, 2010.

SILVA, A. A. *Uso de dados MODIS para o monitoramento ambiental nos Cerrados: Um estudo a partir de dados MODIS3QI realçados através de um modelo de mistura espectral*. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Federal de Goiás - UFG. Goiânia - GO. 2004.

SOARES, R. V. *Incêndios florestais – controle e uso do fogo*. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, Curitiba: FUPF, 1985, 213 p.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. *Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal*. Rio de Janeiro: IBGE - DÉRMA, 2012. 123 p.