ANÁLISE MULTITEMPORAL DA OCORRÊNCIA DE QUEIMADAS NO BIOMA CERRADO NO PERIODO DE 2010 A 2013 UTILIZANDO TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

JOSYCEYLA DUARTE MORAIS 1
REJANE RODRIGUES DA SILVA 2
ELAINE CRISTINA OSORIO ROCHA 3

Tecnóloga em Geoprocessamento – IFPI 1 2

Universidade Federal de Pernambuco - UFPE 3
Centro de Tecnologia e Geociências - CTG
Departamento de Engenharia Cartográfica, Recife, PE
josy.geop@hotmail.com, rejaneffa@hotmail.com, elainecris_sr@yahoo.com.br

RESUMO - O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul e o segundo que mais sofreu alterações devido a expansão de fronteiras agrícolas no Brasil, acarretando no aumento da ocupação urbana e extração predatória dos recursos naturais principalmente pela ocorrência de queimadas. Instrumentos de apoio ao monitoramento ambiental tem sido utilizados por parte dos órgãos ambientais e instituições de pesquisas objetivando a preservação, conservação e monitoramento desse bioma. A pesquisa apresenta a espacialização das ocorrências de focos de queimadas no cerrado brasileiro no período de 2010 a 2013 integrando Sistema de Informação Geográfica (SIG) e dados de satélites a partir da aplicação da ferramenta de análise espacial por densidade *kernel density* presente no software ArcGis 9.3 sob dados pontuais disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) que representam focos de queimadas detectados pelo satélite AQUA. Os resultados serão disponibilizados através de mapas em gradiente de cores que representam a concentração ou dispersão destes pontos possibilitando identificar áreas de baixa, média e alta intensidade de ocorrências demonstrando, assim, a potencialidade das Tecnologias da Geoinformação como alternativa de análise e gestão ambiental.

ABSTRACT- Cerrado is the second largest biome in the Southern America and the second one that suffered changes due to the expansion of agricultural frontiers in Brazil resulting in the increase of urban occupation and predatory extraction of natural resources, especially the occurrence of fires. Instruments to support environmental monitoring has been used by environmental agencies and research institutions in the preservation, conservation and monitoring of this biome. The research presents the spatial distribution of the occurrences of outbreaks of fires in the Brazilian cerrado in the period 2010-2013 by integrating Geographical Information System (GIS) and satellite data from the application of spatial analysis tool for *kernel density* density present in the *ArcGis 9.3* software under specific data provided by the National Institute for Space Research (INPE) representing fire outbreaks detected by the AQUA satellite. The results are maps in gradient colors representing the concentration or dispersion of these points possible to identify areas of low, medium and high intensity events, beyond the capability of Geoinformation Technologies as an alternative analysis and environmental management.

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado brasileiro é considerado a savana mais rica do mundo pela sua imensa biodiversidade, constituída por uma grande variedade de espécies endêmicas. Em âmbito local, é o berço de populações que dependem de seus recursos naturais para a sobrevivência. No entanto, apesar de sua grande importância, o Cerrado vem sofrendo com os efeitos causados pela ocupação humana, movida pela busca da ampliação de áreas para o cultivo de grãos e criação de pastos, extração madeireira de carvoarias, causando assim, o esgotamento de seus recursos naturais. Para GOULART (2011) a transformação ocorrida no Cerrado se deu com o uso intensivo do fogo.

No Brasil, a queima de biomassa vegetal constitui uma prática de manejo utilizada em diferentes culturas, na criação e na manutenção de pastos para criação de gado e na expansão da fronteira agrícola. As queimadas estão

amplamente inseridas no processo produtivo da Amazônia e do Cerrado brasileiro e é um fator que impulsiona a expansão agropecuária nestas regiões. (PIROMAL et al., 2008)

O calor, estiagem e baixa umidade do ar e o vento que ajuda a espalhar as chamas são fatores que contribuem para ocorrência de queimadas. Agricultores e fazendeiros queimam suas terras para converter florestas em áreas de lavouras ou pastagens e para controlar a proliferação de plantas invasoras, de pragas ou de doenças, bem como para estimular a rebrota da pastagem. (PIROMAL et al., 2008). Outra forma de queimada nesse bioma são os tocos de cigarros jogados na mata, temperaturas elevadas, o tempo seco e a baixa umidade relativa do ar contribuem para a propagação do fogo.

As queimadas destroem a fauna e flora, empobrecem o solo, reduzem a penetração de água no subsolo, e em muitos casos causam mortes, acidentes e perda de propriedades. No âmbito regional, causam poluição atmosférica com prejuízos à saúde de milhões de pessoas e à aviação e transportes; elas também alteram, ou mesmo destroem ecossistemas. E do ponto de vista global, as queimadas são associadas com modificações da composição química da atmosfera, e mesmo do clima do planeta; neste último contexto, as maiores contribuições do Brasil provêm das queimadas. É também importante lembrar que as queimadas são parte integrante e necessária de alguns ecossistemas onde ocorrem naturalmente devido a raios, como no Cerrado, mas apenas uma ou duas vezes por década nas estações de transição, e não tão frequentemente e no período de estiagem como se constata. (INPE, 2012)

Neste viés, instrumentos de apoio ao monitoramento ambiental têm sido utilizados por parte dos órgãos ambientais e instituições de pesquisas objetivando a preservação, conservação e monitoramento desse bioma. Desde 1998 o INPE vem aperfeiçoando o trabalho de detecção de queimadas, atualmente todos os dados e produtos são disponibilizados na internet em cerca de três horas após a sua geração, sem custos ao usuário. O registro de ocorrência de queimadas e a análise das mesmas são ferramentas essenciais para se definir estratégias de preservação e combate a incêndios, além de indispensáveis para assegurar um gerenciamento eficiente e organizado dos mesmos.

No processo de geração de dados do INPE, são usados todos os satélites que possuem sensores óticos operando na faixa termal-média de 4µm, são recebidas e processadas as imagens AVHRR dos satélites polares NOAA-15, NOAA-16, NOAA-18 e NOAA-19; as imagens do sensor MODIS dos satélites polares NASA TERRA e AQUA; as imagens dos satélites geoestacionários GOES-13 e MSG-2 e as imagens VIIRS do satélite de orbita polar NP.

O trabalho tem como objetivo mostrar a distribuição das ocorrências de queimadas no cerrado brasileiro no período de 2010 a 2013 em relação aos demais biomas do Brasil, utilizando como base dados pontuais georreferenciados disponibilizados pelo INPE referentes aos focos detectados pelo satélite AQUA.

O AQUA é um satélite americano, desenvolvido em parceria com o Japão e com o Brasil, lançado em 2002, que visa promover o avanço científico na área de mudanças climáticas globais. Com resolução radiométrica de 12 bits, opera em 36 canais espectrais entre 0,4 µm a 14,4 µm de comprimento de onda, a uma altitude de 700 km, resolução espacial que varia de 250m, 500m e 1000m e resolução temporal de 1 a 2 dias. Foi projetado para monitorar vários tipos de fenômenos físicos referentes à circulação da energia e da água na Terra. Para isso, ele oferece uma série de dados sobre as interações que ocorrem entre a atmosfera, oceano e continente. É também ideal para se realizar análises multitemporais pois é utilizado como satélite de referência por possuir horário de passagem estável ao longo dos anos, mantendo o mesmo padrão de amostragem temporal, e praticamente isento de falsas detecções devido aos reflexos do sol em superfícies terrestres.

Para obtenção dos resultados foi analisada a densidade destes pontos através da ferramenta *kernel density* do software ArcGis 9.3. A Densidade Kernel calcula a densidade de pontos em torno de cada célula raster de saída. Conceitualmente, uma superfície suavemente curva é colocada sobre cada ponto. O valor mais elevado da superfície encontra-se no local do ponto e diminui com o aumento da distância a partir do ponto. A dada distância do raio do ponto de pesquisa o valor pode chegar à zero. A densidade de cada célula raster de saída é calculada pela soma dos valores de todas as superfícies do kernel onde sobrepõe o centro da célula raster. Por padrão, uma unidade é selecionada com base na unidade linear da definição de projeção dos dados de ponto de entrada, de recursos ou de outro modo especificado na definição do sistema de coordenadas de saída no ambiente de geoprocessamento. Se uma unidade de área é selecionada, a densidade calculada para a célula é multiplicada pelo fator apropriado antes de ser gravado no raster de saída. (SILVERMAN, 1986).

A análise da densidade dos pontos por *kernel density* possibilitou um resultado satisfatório permitindo identificar por tonalidade de cores a concentração ou dispersão da ocorrência de queimadas em cada bioma brasileiro. Observou-se que o cerrado brasileiro, no período em estudo, foi o bioma mais atingido pela ocorrência de queimadas e em determinadas regiões foram reincidentes e acumulam um numero maior de focos.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, ocupando uma área de 2.036.448 km^2, cerca de 22% do território nacional sobre os estados de Goiás, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Bahia,

Maranhão, Piauí, Rondônia, Paraná, São Paulo e Distrito Federal, além dos encraves no Amapá, Roraima e Amazonas. (BRASIL, 2013)

Com relação à delimitação foi utilizada neste trabalho uma proposta recente elaborada pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA em conjunto com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) cuja área coberta pelo domínio do Cerrado seria de aproximadamente 2.045.064 km^2. Nessa nova proposta, as áreas de transição existentes na parte norte do Cerrado, entre os estados de Maranhão e Piauí, passaram a ser incluídas no bioma, enquanto que as áreas dos ecótonos sul amazônicos foram computadas no bioma amazônico. (figura 01)

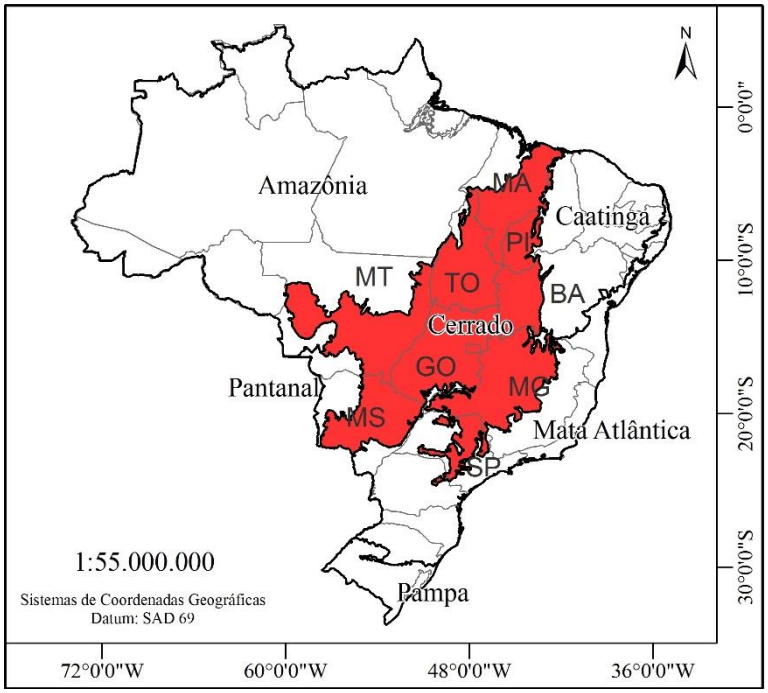

Figura 01: Mapa de Localização do Cerrado brasileiro

2.2 Metodologia

Para a realização da pesquisa foi utilizado o banco de dados geográfico disponibilizado pelo IBGE na página http://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm contendo os arquivos *shapefile* de limites estaduais do Brasil e limites dos biomas brasileiros, além dos arquivos *shapefile* referentes aos dados pontuais de focos de queimadas detectados pelo Satélite AQUA disponibilizados pelo INPE na página www.cpetec.inpe.br/queimadas correspondente aos anos 2010, 2011, 2012 e 2013.

Para avaliação da distribuição espacial do número total de focos de queimadas nos biomas por ano aplicou-se aos dados pontuais a ferramenta de análise espacial de densidade *Kernel Density* disponível no software *ArcGis 9.3. A* estimativa de densidade de Kernel permite representar pontualmente ou por intensidade uma ocorrência ou fenômeno através de mapas de pontos, de grande importância para avaliar a espacialização do fenômeno estudado.

A Densidade de Kernel é uma técnica de interpolação exploratória que gera uma superfície de densidade para a identificação visual de "áreas quentes". Entende-se a ocorrência de uma área quente como uma concentração de eventos que indica de alguma forma a aglomeração em uma distribuição espacial. (BRASIL, 2007, p. 44). O estimador Kernel não é um método de detecção de aglomerados por si, mas, um método para explorar e mostrar o padrão de pontos de dados das ocorrências, e é útil a partir do momento em que gera uma superfície contínua a partir de dados pontuais (BRASIL, 2007 apud CROMLEY E MCLAFFERTY, 2002, p. 44).

A análise da densidade dos pontos por *kernel density* gerou mapas em formato *raster* em gradiente de cores. A variação das cores representa a concentração ou dispersão dos focos de queimadas. As áreas de maior concentração de focos correspondem nos mapas às áreas de maior incidência de queimadas, as áreas de média concentração de focos à média incidência e as áreas de menor concentração de focos a área de menor incidência.

Informações sobre a ocorrência de queimadas por estados e por biomas em cada ano foram adquiridas nas tabelas de atributos dos arquivos *shapefile* de focos e contabilizadas automaticamente com a utilização da ferramenta *summarize* do ArcGis 9.3, esta contabilização facilitou a confecção dos gráficos que representaram a quantidade e percentagem de focos de queimadas por bioma ano a ano. Uma observação com relação aos gráficos é que as

percentagens não fecham o valor em 100% devido a alguns casos de focos que se encontravam sem dados na tabela de atributo.

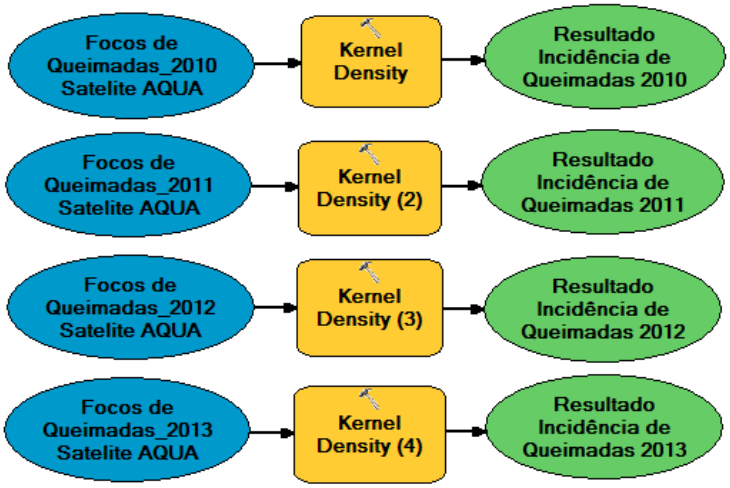

Figura 02: Processo da aplicação da ferramenta *Kernel Density*

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os mapas gerados após a aplicação da técnica de análise espacial Kernel, a maior ocorrência de focos de queimadas nas áreas dos biomas brasileiros foi no cerrado no período de 2010 a 2013. Pelos mapas, os tons amarelados correspondem às áreas com menores concentrações de focos, os tons rosados as áreas de médias concentrações e os tons azulados as áreas de altas concentrações ou áreas críticas. (figuras 4,6,8,10). As tabelas 3,5,7,9 apresentam o total de focos detectados em cada ano por bioma.

3.1 Incidência de Queimadas Ano 2010

Em 2010 foram registrados 394.521 focos de queimadas nos biomas brasileiros. O cerrado foi o bioma mais atingido registrando 188.162 focos, de acordo com dados do satélite AQUA, este valor representa 47,69% do total de focos, conforme pode ser observado na figura 03.

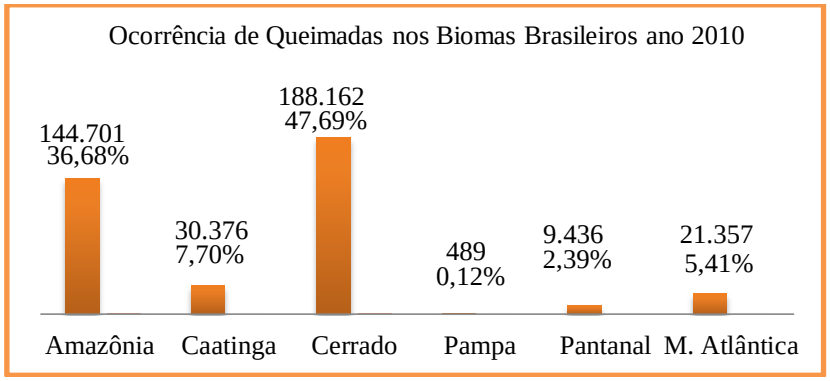

Figura 03: Ocorrência de queimadas nos biomas brasileiros ano 2010

Pode-se observar na figura 04 que o aglomerado nordeste do Mato Grosso e Sudeste do Pará, localizado sob a linha divisória dos Biomas Amazônico e Cerrado apresentaram alto grau de incidência de queimadas. A maior concentração de médio grau localiza-se no cerrado dos estados do Piauí, Maranhão e Tocantins. Áreas da Mata Atlântica e Amazônia também apresentação médio grau de incidências, porém com menor abrangência. As demais regiões do país registram baixos índices de ocorrências.

Foram contabilizados 75.056 no Mato Grosso, 64.241 no Pará, 46.122 no Maranhão, 43.317 em Tocantins e 31.537 no Piauí. Estes foram respectivamente os cinco estados com maior quantidade de focos detectados em 2010.

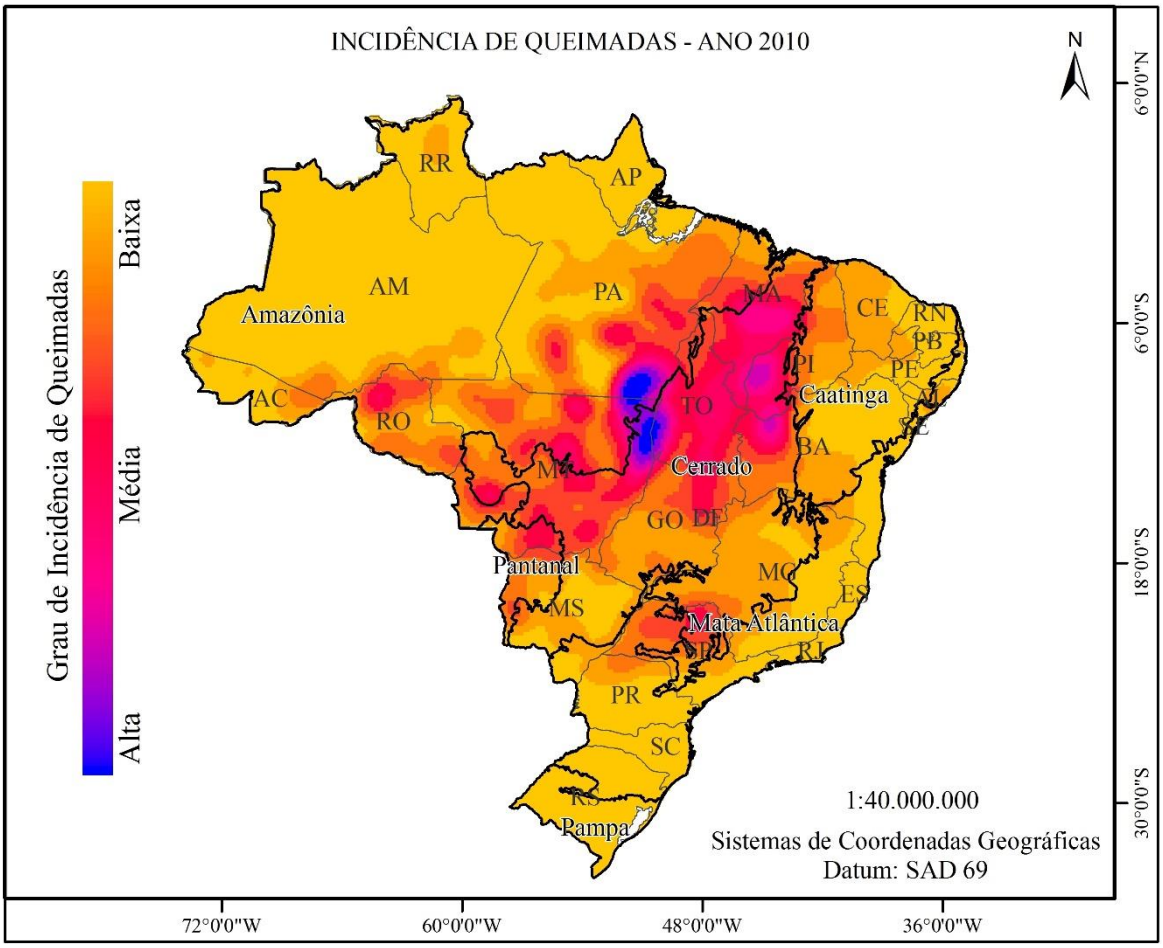

Figura 04: Incidência de Queimadas nos biomas brasileiros ano 2010

3.1 Incidência de Queimadas Ano 2011

Em 2011 foram registrados 206.143 focos de queimadas nos biomas brasileiros. O cerrado foi o bioma mais atingido por queimadas registrando 93.771 focos, de acordo com dados do satélite AQUA, este valor representa 45,49% do total de focos, conforme pode ser observado na figura 05.

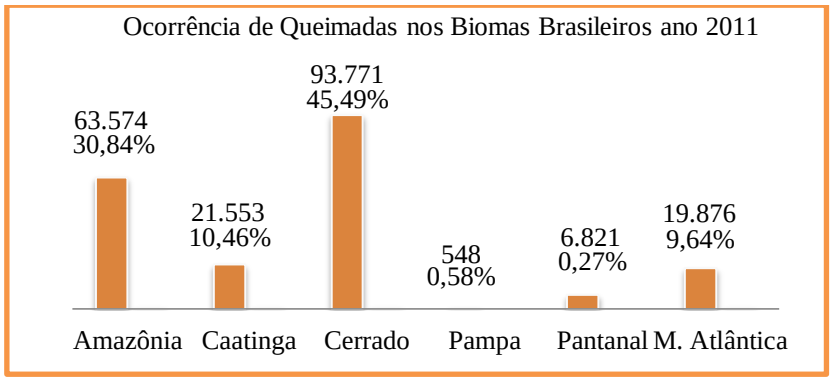

Figura 05: Ocorrência de queimadas nos biomas brasileiros ano 2011

Em 2011 os estados do Pará e Mato Grosso registraram a maior quantidade de focos novamente. Estes focos apresentaram-se mais espalhados ao longo de seus territórios e não concentrados em uma só área como em 2010, indicaram, assim, níveis médios de queimadas. É importante ressaltar que apesar do Pará estar inserido no bioma amazônico, a maior parte das queimadas ocorreu nas áreas mais próximas ao limite com o cerrado.

A região sul do Piauí concentrou a maior parte dos focos. As regiões do cerrado maranhense e baiano também registram altos índices de intensidades, conforme observamos na figura 06.

Foram contabilizados 27.833 no Pará, 24.946 no Mato Grosso, 23.711 no Maranhão, 21.298 na Bahia e 19.871 no Piauí. Estes foram respectivamente os cinco estados com maior quantidade de focos detectados em 2011.

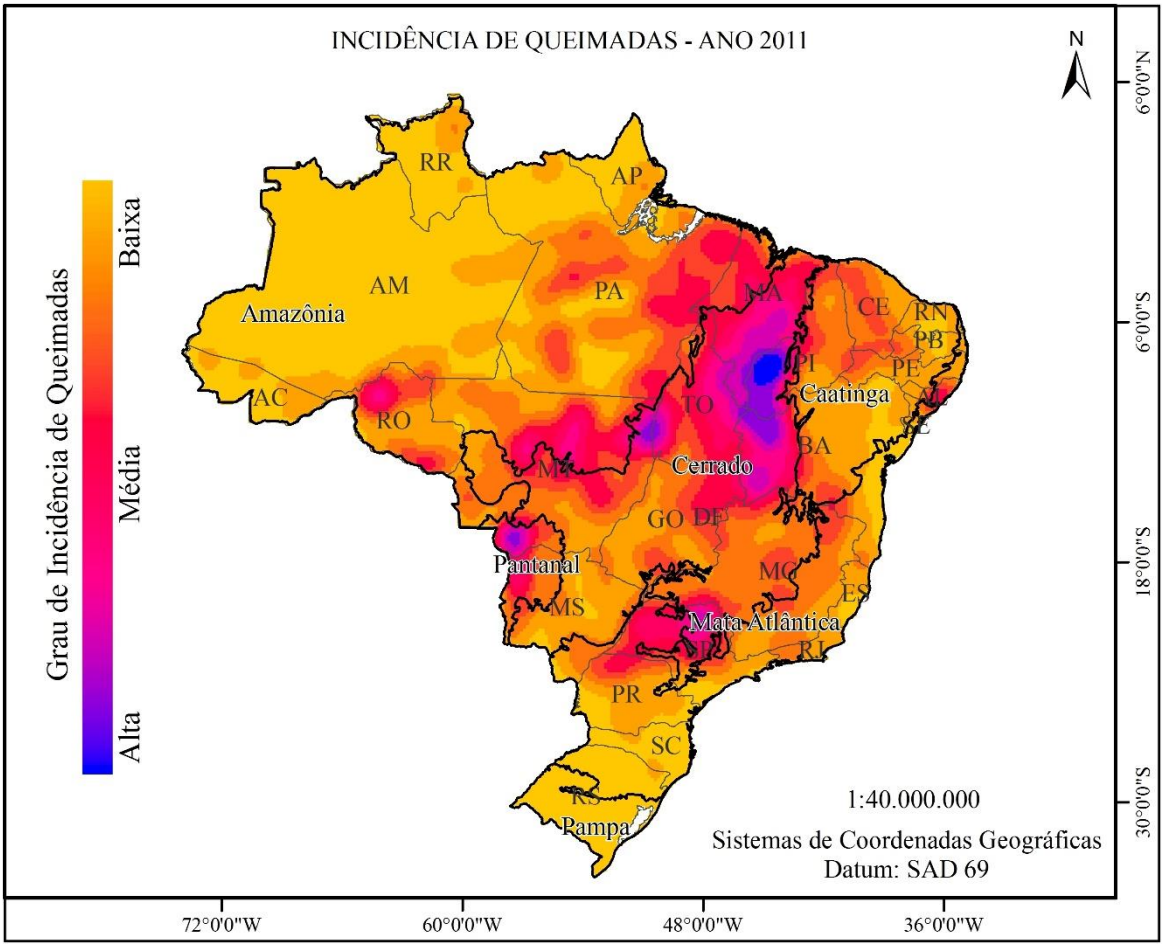

Figura 06: Incidência de Queimadas nos biomas brasileiros ano 2011

3.1 Incidência de Queimadas Ano 2012

Em 2012 foram registrados 313.703 focos de queimadas nos biomas brasileiros. O cerrado foi o bioma mais atingido por queimadas registrando 155.976 focos, de acordo com dados do satélite AQUA, este valor representa 49,72% do total de focos, conforme pode ser observado na figura 07.

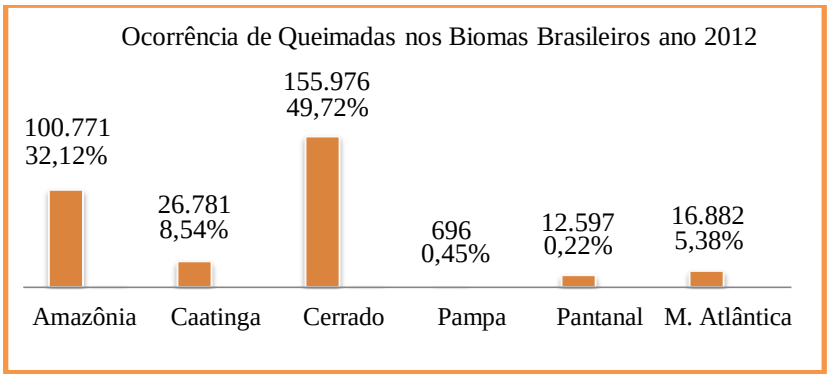

Figura 07: Ocorrência de queimadas nos biomas brasileiros ano 2012

Em 2012 a maior parte dos focos se aglomerou na região sul do Piauí, no oeste da Bahia e no sudeste do Maranhão, apresentando alto grau de incidência. Índices médios foram registrados nos estados de Tocantins, Minas

Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Amazonas, Pará e Rondônia. As demais regiões registraram baixos índices, conforme observado na figura 08 que segue abaixo.

Foram contabilizados 48.202 no Maranhão, 41.083 no Pará, 40.579 no Mato Grosso, 34.406 na Bahia, 31.470 no Piauí. Estes foram respectivamente os cinco estados com maior quantidade de focos detectados no ano.

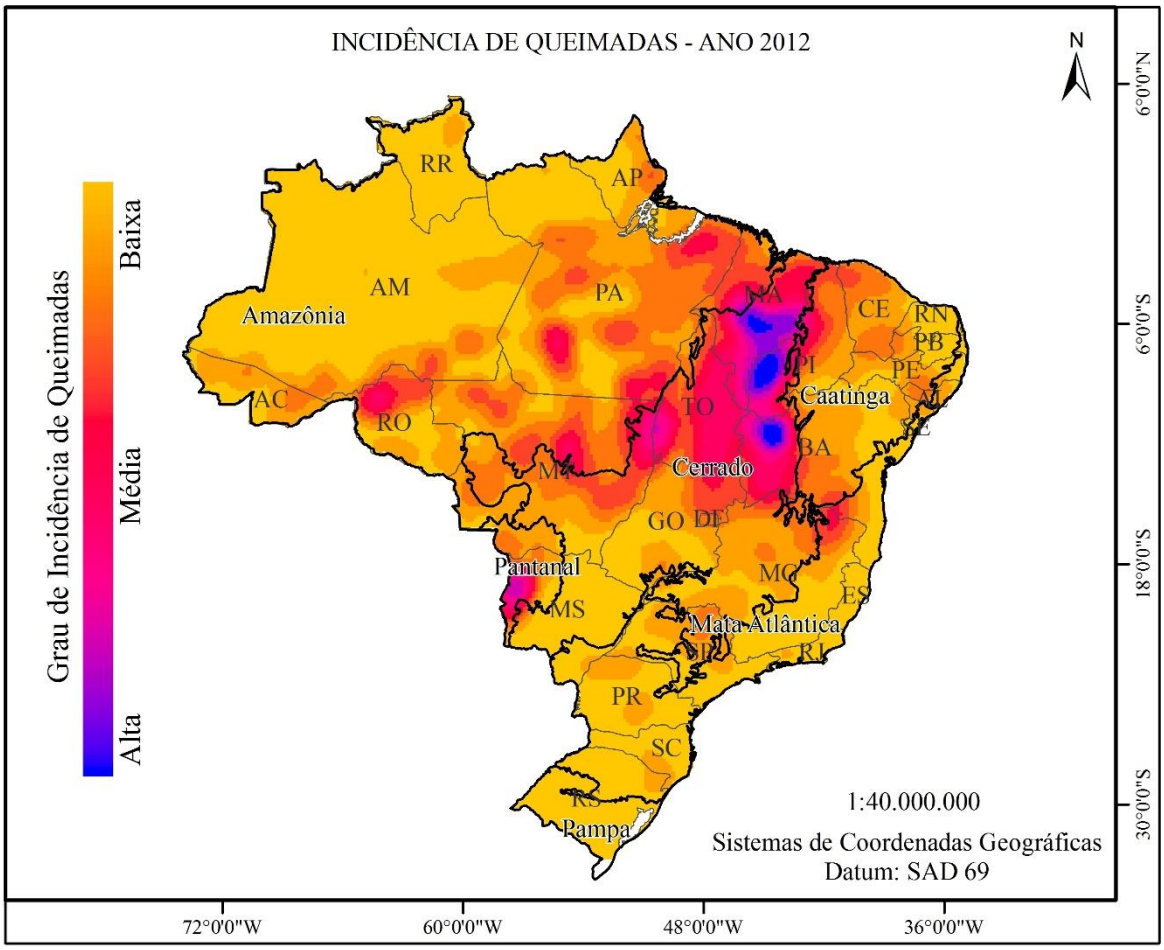

Figura 08: Incidência de Queimadas nos biomas brasileiros ano 2012

3.1 Incidência de Queimadas Ano 2013

Em 2013 foram registrados 138.585 focos de queimadas nos biomas brasileiros. O cerrado foi o segundo bioma mais atingido por queimadas registrando 53.789 focos, de acordo com dados do satélite AQUA, este valor representa 38,81% do total de focos, conforme pode ser observado na figura 09.

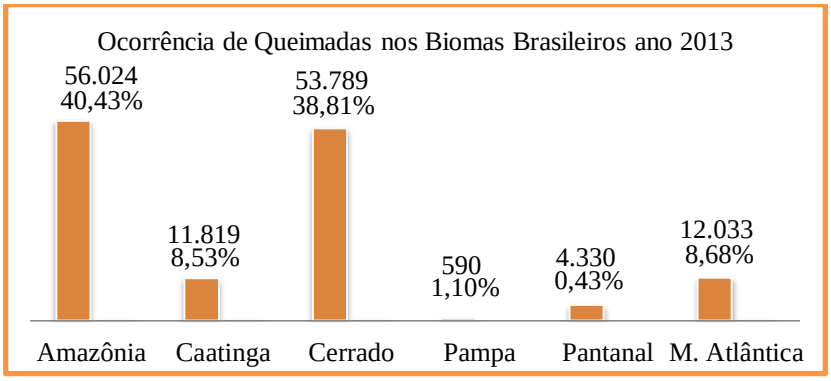

Figura 09: Ocorrência de queimadas nos biomas brasileiros ano 2013

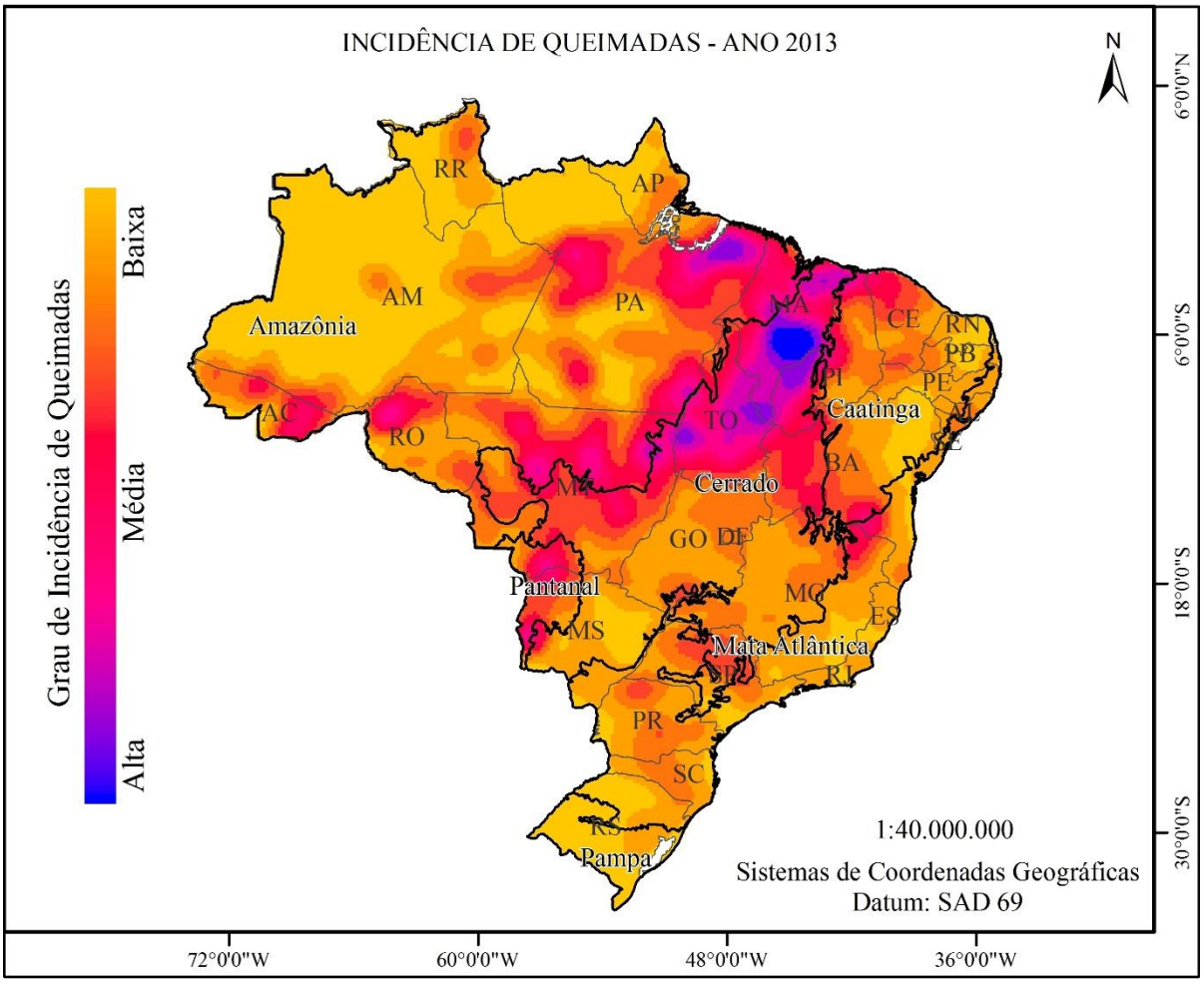

Figura 10: Incidência de Queimadas nos biomas brasileiros ano 2013

Em 2013 a Amazônia registrou uma quantidade de focos um pouco maior em relação ao cerrado, no entanto, estes focos apresentaram-se dispersos concentrando-se na região nordeste do Pará, localizada nas proximidades do limite com o cerrado.

O maior grau de incidências estive intensamente concentrado nas regiões sudeste do Maranhão, sul piauiense, e em trechos do estado do Tocantins. A região oeste da Bahia e praticamente todo território de Tocantins e Mato Grosso sofreram com médio grau de incidências. (figura 10).

Foram contabilizados 22.546 no Mato Grosso, 22.415 no Pará, 18.554 no Maranhão, 12.604 no Tocantins, 9.000 na Bahia. Estes foram respectivamente os cinco estados com maior quantidade de focos detectados.

4 CONCLUSÃO

O cerrado foi o bioma que registrou a maior quantidade de queimadas no período em estudo. As regiões sul do Piauí, sudeste do Maranhão, oeste da Bahia, nordeste do Mato Grosso e Sudeste do Pará concentram grande quantidade de focos apresentando alto grau de incidências de queimadas nos mapas. Os mapas resultantes são um alerta para que os órgãos responsáveis desenvolvam políticas mais eficientes de combate ao fogo no cerrado.

A ferramenta *Kernel Density* mostrou eficiência na representação da ocorrência de queimadas e o resultado através da geração dos mapas possibilita o acesso rápido e prático ao panorama da distribuição e intensidade das queimadas no Brasil sem necessariamente de lidar com imensas tabelas de atributos, demonstrando a potencialidade das Tecnologias da Geoinformação.

Recomenda-se a continuidade do projeto, propondo a seguinte metodologia: as classes alta, média e baixa intensidade devem ser transformadas em vetor e trabalhadas em sobreposição com imagens de satélites de modo a identificar com mais precisão a localização das áreas criticas. Posteriormente deve-se cruzar estas áreas com outras informações, tais como características climáticas e desmatamento e produção agrícola.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Ministério do Meio Ambiente**. O Bioma Cerrado. 2013. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/biomas/cerrado>. Acesso em: 08 jun. 2014

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Secretaria de Vigilância em Saúde. Introdução à Estatística Espacial para a Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz: Brasília, 2007. Série Capacitação e Atualização em Geoprocessamento em Saúde; 3. 120 p. Disponível em: <http://www.escoladesaude.pr.gov.br/arquivos/File/TEXTOS_CURSO_VIGILANCIA/capacitacao_e_atualizacao_em_geoprocessamento_em_saude_3.pdf. Acesso em: 30 ago.2014

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 04 jun. 2014

GOULART, A. A. et al. Focos de Queimadas e Incêndios Detectados por Satélites nas Unidades de Conservação do Cerrado no Mato Grosso em 2010. In: XIV Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2011, Dourados. **Anais**... Mato Grosso do Sul: UFGD. ISSN: 2236-5311

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Mapa de biomas e de vegetação**. 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/21052004biomashtml.shtm>. Acesso em: 10 jun 2014

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Portal do Monitoramento de Queimadas e Incêndios**. Perguntas frequentes, 2012. Disponível em: <http://www.inpe.br/queimadas/> Acesso em: 08 de jun. 2014

MACHADO, R.B. et al. 2004. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Relatório técnico não publicado. Conservação Internacional: Brasília. Disponível em: <http://www.conservation.org.br/arquivos/RelatDesmatamCerrado.pdf>. Acesso em: 06 jun.2014

PIROMAL, R. A. S. et al. **Utilização de dados MODIS para a detecção de queimadas na Amazônia**. Acta Amazônica: Manaus, v.38, n.1, p.77-84, 2008. ISSN 0044-5967. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672008000100009>. Acesso em: 10 jun 2014

SILVERMAN, B. W. **Density Estimation for Statistics and Data Analysis**. Monographs on Statistics and Applied Probability. New York: Chapman and Hall, 1986