

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE BIOMASSA ARBÓREA E CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS EM UMA FLORESTA QUEIMADA NA AMAZÔNIA

ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN SPECTRAL CHARACTERISTICS AND TREE BIOMASS OF A BURNED FOREST IN THE AMAZON

Letícia K. Fernandes¹, Camila V. J. Silva¹, Rodrigo N. Sousa¹, Luiz E.O.C. Aragão¹, Liana O. Anderson^{2, 1}, Rodrigo N. Sousa^{2, 1}, Bruno S. Castro³, Marcos A. S. Scaranello³

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Av. dos Astronautas, 1758, 12.227-010 – São José dos Campos, SP, Brasil, leticia_kirsten@hotmail.com, camilas@dsr.inpe.br, rodrigonunessousa@gmail.com, laragao@dsr.inpe.br.

² Environmental Change Institute, University of Oxford, Oxford, OX1 3QY, UK, liana.anderson@gmail.com

³Instituto Centro de Vida – ICV, Escritório de Alta Floresta - Avenida Ariosto da Riva, 3473, 78580-000 Setor A, Alta Floresta - MT, Brasil, bruno.castro@icv.org.br

³Departamento de Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas, CP 6109, 13083-867Campinas-SP, Brasil, masscaranello@gmail.com.

RESUMO

Neste trabalho foram analisadas mudanças estruturais e espectrais entre uma floresta Ombrófila Densa afetada por fogo em 2005 e uma área controle. Na área de estudo, localizada no norte do Mato Grosso, foram realizados dois inventários florestais (2009 e 2011) em cada uma das parcelas permanentes de 1 ha. Foram medidos todos os indivíduos com diâmetro acima do peito (DAP) ≥ 10 cm. A biomassa arbórea seca acima do solo (BAS) foi calculada para avaliar a dinâmica florestal. A reflectância de superfície foi obtida das imagens LANDSAT 5 referentes aos anos de 2009 e 2011. As imagens foram registradas, corrigidas para remover os efeitos da atmosférica e normalizadas radiometricamente. A parcela queimada (PQ) apresentou perda de biomassa aproximadamente 4 vezes maior que a parcela controle (PC) devido a mortalidade de indivíduos com DAP $> 80,1$. Para os dois anos analisados a reflectância média nas bandas 4 e 5 foi significativamente maior em PQ que em PC. O aumento da reflectância nas bandas 4 e 5 na PQ podem estar ligados ao processo de regeneração após o fogo, que, possivelmente, promoveu o desenvolvimento de um dossel mais homogêneo devido ao recrutamento de indivíduos arbóreos de crescimento rápido, aumentando o espalhamento múltiplo da radiação e consequente elevando o platô no infravermelho próximo e médio. Além disso, a menor reflectância nas bandas 4 e 5 observadas em 2011 em relação a 2009 nas duas áreas pode estar relacionado com a seca de 2010, causando redução do espalhamento dentro do dossel devido a perda e seca de folhas.

Palavras-chave: Floresta Amazônica, queimadas, anomalias de precipitação, biomassa acima do solo, LANDSAT 5.

ABSTRACT

In this work, structural and spectral changes in the Amazon Rain Forest were analyzed by comparing a fire affected area and a control throughout the period 2009-2011. The study area is located in northern Mato Grosso state in Brazil. Forest inventory was conducted in two permanent plots comprising 1 ha each. All individuals with diameter at breast height (DBH) ≥ 10 cm were measured. The above ground dry tree biomass (BAS) was calculated to assess forest dynamics. The surface reflectance was obtained using 2009 and 2011 LANDSAT 5 data. Image preprocessing included registration, atmospheric correction and radiometric normalization. The biomass loss in the burned plot (PQ) was 4 times greater than in the control plot (PC) due the mortality of individuals with DBH $> 80,1$. The mean reflectance of bands 4 and 5 was significantly higher in PQ than PC for both years. The spectral response increase in bands 4 and 5 in PQ may be linked to regeneration process after fire, which can lead to a more homogenous canopy due to the recruiting of fast growing trees, increasing multiple scattering and consequently raising the near and shortwave infrared plateau. Moreover, the lower reflectance in bands 4 and 5 observed in 2011 in relation to 2009 in both sites may be related to the 2010 drought, causing reduction of the scattering inside the canopy due to leaf loss and drying.

Keywords: Amazon forest fires, rainfall anomalies, aboveground biomass, LANDSAT 5.

INTRODUÇÃO

Com o aumento das taxas de ocupação e desenvolvimento na Amazônia, a ocorrência de focos de queimadas antrópicas se acentua (SCHROEDER *et al.* 2009). Estimativas da extensão anual das áreas florestais danificadas por queimadas na Amazônia permanecem incertas devido a dificuldades de separar a queima de outros tipos de danos florestais em dados de satélite (MORTON, *et al.* 2011). Na porção norte do estado do Mato Grosso, predominam as queimadas com finalidade de desflorestamento, sobretudo, nos municípios localizados nas regiões de fronteiras agrícolas (NEPSTAD *et al.*, 1999).

Segundo Salati e Vosep (1984) os principais efeitos do fogo nos processos ecológicos de florestas tropicais estão relacionados com as perdas dos estoques de biomassa, assim como as alterações no ciclo hidrológico e de nutrientes. Queimadas de sub-bosque na Amazônia alteram a estrutura da floresta, composição de espécies, e a probabilidade de perturbação no futuro (MORTON, *et al.* 2011). Os incêndios florestais durante anos de seca tendem a liberar carbono em quantidade similar aos desmatamentos, às duas práticas combinadas podem resultar em uma perda de C equivalente em magnitude ao sumidouro de carbono estimado para as florestas amazônicas não perturbadas (0,45 Gt C) (ARAGÃO e SHIMABUKURO, 2010).

Através de ferramentas e dados do sensoriamento remoto alguns trabalhos buscaram realizar estimativas de áreas queimadas na Amazônia, bem como avaliar o impacto do fogo nas áreas de floresta em termos de emissões por queima de biomassa (ARAGÃO *et al.*, 2008; MORTON *et al.*, 2011; OLIVERAS *et al.*, 2014). Uma das maiores vantagens do sensoriamento remoto é a habilidade de gerar imagens de áreas extensas e remotas, múltiplas vezes e assim quantificar as mudanças em escala local e regional (ROBERTS, 2003).

O uso dos sensores ópticos, como o TM a bordo do Landsat, possibilita através da assinatura espectral dos alvos, conhecer as características intrínsecas a estes. No contexto das florestas queimadas é importante identificar sua resposta espectral, a fim de estabelecer relações entre o nível de degradação dessas florestas e os dados derivados de sensores remotos. Para isso, deve ser realizada a medição e monitoramento de longo prazo das variáveis biofísicas das áreas de floresta tropical afetadas por fogo, de forma que seja possível acompanhar os efeitos observados em campo através das imagens de satélite. Este entendimento é crucial para permitir a quantificação dos danos das queimadas na estrutura e estoques de carbono em florestas tropicais a partir da análise de dados provenientes dos sensores remotos.

Neste trabalho, portanto objetivamos avaliar duas áreas em floresta Ombrófila Densa no norte do estado de Mato Grosso, sendo uma controle e uma afetada pelo fogo de forma a quantificar mudanças estruturais e espectrais nestas áreas em dois anos (2009 e 2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

O estudo foi realizado na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Lote Cristalino (9°35'49"S e 55°37'54"W) localizado no município de Novo Mundo - MT, compreendendo uma área de 670 ha. O clima é do tipo Equatorial Continental com duas estações bem definidas, verão chuvoso e inverno seco e quatro a cinco meses secos (maio a setembro). O tipo de solo predominante da região é o Argilossolo Vermelho - Amarelo Álico. A Floresta Ombrófila Densa Submontana (Mata de terra firme) é a principal fitofisionomia. São florestas altas, com altura média entre 25 a 35 m e árvores emergentes com até 50m (CARVALHO *et al.*, 2010).

Dados de campo

O inventário florestal foi realizado em duas parcelas permanentes de 1 ha cada, entre o período de março de 2009 a abril de 2011. Uma parcela foi instalada em uma área em processo de regeneração natural após um evento de queimada ocorrido no ano de 2005 (Parcela Queimada- PQ). A outra parcela foi instalada em uma

área preservada (Parcela Controle - PC) adjacente a PQ (Figura 1). Cada parcela permanente foi subdividida em 25 subparcelas de 400 m² (20 x 20 m). Todos os indivíduos com o diâmetro a altura do peito (DAP) maior ou igual a 10 cm foram inventariados no ano de 2009. O DAP dos indivíduos sem irregularidade no tronco foi medido, com auxílio de fita diamétrica, na altura do peito (1,30m), enquanto os indivíduos com raízes tabulares ou outras irregularidades foram medidos logo acima dessas irregularidades. Os indivíduos foram marcados com placas de alumínio implantadas a 1,60 m ao nível do solo.

No ano de 2011 todos os DAP dos indivíduos foram remedidos. Neste segundo inventário, foi realizada uma varredura cuidadosa para registro do número de indivíduos mortos (mortalidade) e os indivíduos que alcançaram DAP \geq 10 cm foram incluídos como recrutas. Os indivíduos foram considerados mortos quando apresentaram sinais de deterioração aparente ao longo de todo o fuste, troncos sem copa ou rebrotas.

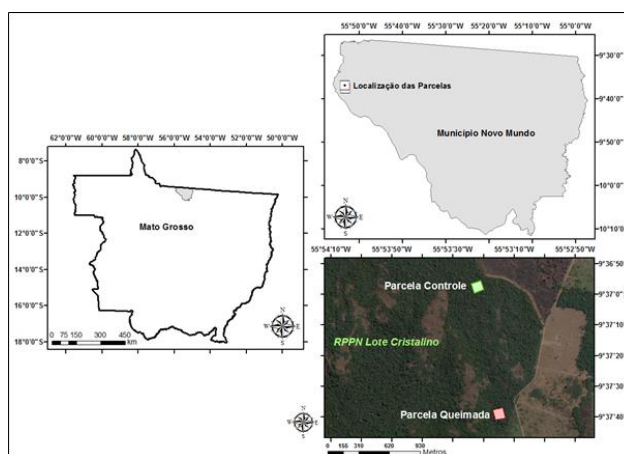


Figura 1. Localização das Parcelas Permanentes área queimada (PQ) e controle (PC) - RPPN Cristalino – MT, Brasil.

Figure 1. Permanent plots in a burned area (PQ) and in a control area (PC) in - RPPN Cristalino -MT state, Brazil.

Após a coleta de dados em campo a biomassa arbórea seca acima do solo (BAS), em toneladas por hectare (ton/ha), excluindo os dados de palmeiras, foi calculada segundo a equação proposta por Nogueira *et al* (2008). Em ambas as áreas foi também calculado o incremento de biomassa dos indivíduos vivos, a mortalidade e o recrutamento da população.

Dados de Sensoriamento Remoto

As imagens LANDSAT 5 TM utilizadas foram adquiridas através da base *U. S. Geological Survey* (USGS), com nível de correção L1T (*Standard Terrain Correction*). As datas de aquisição foram 12/07/2009 e 18/07/2011, ambas com órbita ponto (227/067).

Uma série temporal de precipitação pluviométrica (mm/ mês) compreendendo o período de 2000 a 2013 foi utilizada para avaliar possíveis condições anômalas de chuva que pudessem estar relacionadas a mudanças espectrais identificadas. Para esta análise foram utilizados dados da missão TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) disponibilizados através da plataforma web (FREITAS *et al.*, 2011) do Laboratório de Sensoriamento Remoto aplicado a Agricultura e Floresta (LAF – INPE).

Correção geométrica

O nível de correção L1T das imagens Landsat fornece correção sistemática geométrica incorporando pontos

de controle e modelo de elevação digital (DEM). Entretanto, foi necessário realizar o registro das imagens com base em uma imagem ortorretificada GeoCover com data de aquisição em abril de 2001. Todo o processamento das imagens foi realizado com uso do software ENVI 4.8. No registro das duas imagens (2009 e 2011), foram selecionados 25 pontos de controle com RMS (Root Mean Square) médio de 0,58 e 0,57 respectivamente entre a imagem ortorretificada GeoCover e a imagem a ser registrada. O método de ajuste polinomial de primeiro grau com reamostragem pelo vizinho mais próximo foi utilizado mantendo a resolução espacial de 30m.

Correção atmosférica e Normalização Radiométrica

A importância da aplicação do modelo está na busca da correlação dos valores de reflectância com os parâmetros biofísicos da vegetação. A correção atmosférica consiste na correção da radiancia do sensor para reflectância de superfície, cujo objetivo é a redução dos efeitos atmosféricos nas imagens. Para essa correção foi utilizada o módulo FLAASH que incorpora a modelo de transferência radiativa MODTRAN4 (MATTHEW *et al.*, 2000). Nesse processamento foi utilizada somente a imagem do ano de 2009, tendo em vista que a mesma foi utilizada como referência na etapa de normalização radiométrica para correção da imagem de ajuste (2011).

O procedimento de normalização radiométrica objetivou remover a influência de variações não lineares de sensibilidade dos detectores correspondentes às distintas bandas LANDSAT 5 ao longo do tempo, da geometria de iluminação e das condições atmosféricas. Nesta etapa utilizamos o software ENVI 4.8, extensão iMAD (*iteratively re-weighted Multi-variate Alteration Detection*) (CANTY e NIELSEN, 2008). Esta técnica seleciona alvos (pixels) nas imagens de referência e de ajuste considerados como pseudo-invariantes, e através de uma transformação linear por regressão entre as bandas normaliza a imagem ajuste (2011) com base na imagem referência (2009).

Foi estabelecido o delineamento amostral dos pixels, tal que polígonos foram definidos como regiões de interesse (ROI) com 25 pixels cada, correspondendo ao formato das parcelas instaladas. Essa metodologia foi adotada com objetivo de amostrar na imagem a mesma área amostrada em campo. Entretanto devido ao tamanho do pixel (30 x 30 m), a ROI sobrepôs e excedeu as dimensões da parcela.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estrutura e dinâmica da vegetação

No inventário de 2009 a densidade de indivíduos arbóreos com DAP ≥ 10 cm na Parcela Controle (PC) foi de 506 indivíduos e a Biomassa Arbórea Seca acima do solo (BAS) total de 218,60 ton/ha, enquanto na Parcela Queimada (PQ) esses valores foram de 519 indivíduos e 191,35 ton/ha. No segundo inventário, a PC totalizou 525 indivíduos e 226,12 ton/ha de BAS enquanto a PQ totalizou 537 indivíduos e uma BAS de 186,61 ton/ha. Em geral, a PC apresentou maiores valores de BAS em comparação a PQ e essa diferença foi maior nas classes com maiores DAP ($>75,0$ cm) (Figura 2). Entre os anos de 2009 e 2011, indivíduos com DAP a partir de 80,1 cm perderam maior BAS total na PQ em comparação com a PC.

O impacto do fogo pode ter sido mais severo durante os primeiros anos nos indivíduos menores, na classe de DAP até 45 cm, contudo a longo prazo observou-se um efeito maior em indivíduos com DAP acima de 45,0 cm. Em 2009, não foi observado diferença na BAS da PQ em relação a PC, porém em 2011 essa diferença emergiu, indicando que provavelmente a ocorrência de cicatrizes, causadas pelo fogo, nos fustes acarretou maior susceptibilidade a fitopatógenos ao longo do tempo e maior mortalidade dos indivíduos de grande porte. Barlow *et al.* (2003) relataram que nos primeiros anos após o fogo, a densidade de árvores mortas é elevada em indivíduos com menores DAP e biomassa, porém três anos após o fogo, essa densidade de árvores mortas eleva-se nas classes com maiores DAPs (≥ 50 cm), elevando substancialmente a perda de biomassa a longo do tempo decorrente de incêndios florestais anteriores.

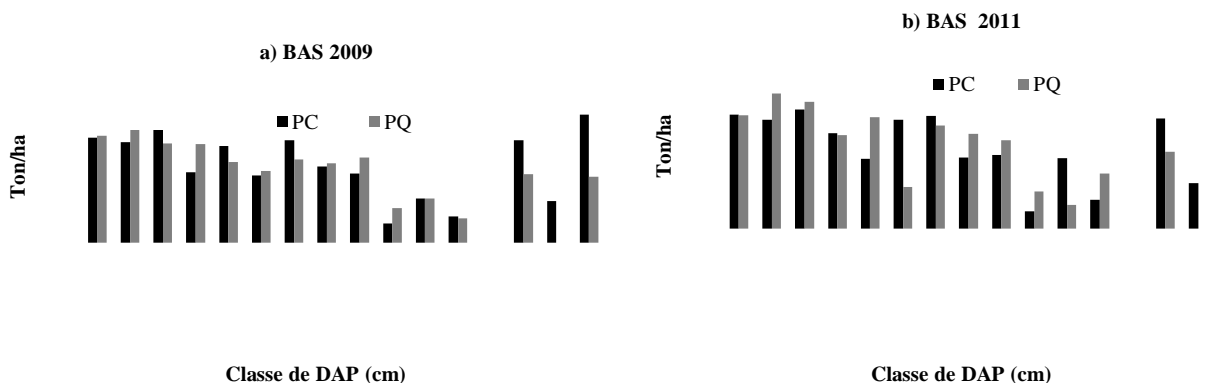


Figura 2. Biomassa (BAS) por classe de diâmetro: a) em 2009; b) em 2011.

Figure 2. Biomass (BAS) for diameter class: a) in 2009; b) in 2011.

A PQ também apresentou menor incremento e uma equidade nos valores de BAS por recrutamento. Contudo, apresentou mortalidade superior a PC, refletindo no balanço final, que demonstra menor acúmulo de biomassa (biomassa líquida) na PQ em relação a PC (Figura 3). O incremento em diâmetro depende do tamanho, onde árvores pequenas geralmente crescem mais lentamente que árvores grandes (BRIENEN *et al.*, 2006). Os mesmos autores, discutem que a dependência de tamanho, o incremento em diâmetro pode estar primariamente relacionado com a disponibilidade de luz. Desta forma, o fogo parece influenciar no crescimento das árvores, prejudicando o incremento de biomassas, porém não interfere no recrutamento de novos indivíduos.

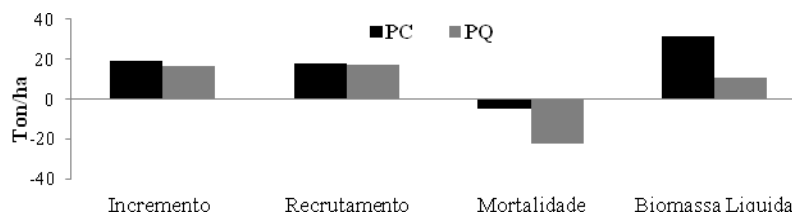


Figura 3. Balanço da biomassa em ton/ha nas parcelas PQ e PC entre os anos de 2009 e 2011.

Figure 3. Balance of biomass in Ton/ha in burned (PQ) and control plots (PC) between the years 2009 and 2011.

Reflectância de superfície

As correções atmosféricas e normalização radiométrica das imagens foram bem sucedidas para as bandas B2 a B7, mostrando assinatura espectral coerente com o esperado para os alvos presentes na cena. Entretanto a banda B1, de maior sensibilidade às condições atmosféricas e de menor importância no estudo da vegetação, não apresentou resultado satisfatório e, portanto foi excluída da análise. Em 2011 foi observado que a floresta apresentou menor reflectância na banda do infravermelho próximo (B4), e nesse caso o esperado é que haja maior reflexão na faixa do visível (B2 e B3).

Embora tenham sido observadas diferenças entre PQ e PC entre os anos nas bandas B5 e B7, a maior diferença foi observada na banda B4. Tendo em vista que B4 é a banda de maior resposta da vegetação, há um indício da sensibilidade dos dados espectrais às alterações causadas na floresta pelo fogo. As curvas espectrais mostram que o maior valor de reflectância se refere à área da PQ em 2009, e o menor valor à PC em 2011. Para os dois anos analisados, foi observado que a reflectância média em PQ é maior que em PC.

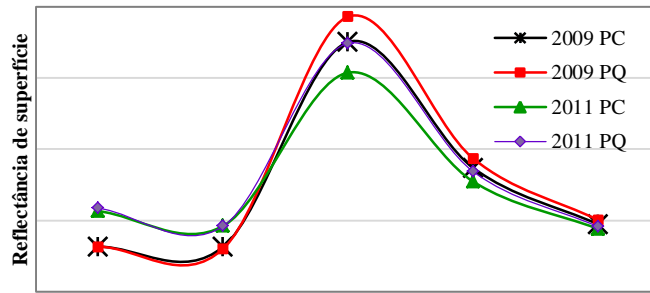


Figura 4. Curvas espectrais compreendendo a faixa de 0,569 a 2,223 μm das parcelas de controle (PC) e com registro de queimada (PQ) nos anos de 2009 e 2011.

Figure 4. Spectral curves comprising the range from 0.569 to 2.223 μm of control (PC) and burned plots (PQ) in the years 2009 and 2011.

Foram selecionadas as bandas B3, B4 e B5 para análise estatística por haver melhor caracterização da vegetação nessas faixas espectrais. As parcelas PQ e PC apresentaram reflectância média significativamente diferente nos dois anos, com exceção da banda B3 (Figura 5). De acordo com o que foi constatado com os dados de campo, houve maior mortalidade e conseqüentemente maior perda de biomassa dos indivíduos de grande DAP (árvores emergentes) na parcela PQ. Isso pode ser um indicativo de que há maior contribuição dos indivíduos de menor DAP (árvores de dossel ou sub-bosque) na resposta espectral da PQ, considerando que a abertura de clareiras beneficiou o crescimento e produção de folhas novas desses indivíduos. Existe maior brotamento de galhos em áreas queimadas e com recorrência de fogo (BALCH, *et al.* 2013), sendo esta a possível causa do aumento significativo observado na reflectância das bandas B4 e B5 e diminuição da reflectância na banda B3.

Em termos de reflectância na banda B3, foi observado valores médios significativamente maiores para as parcelas em 2011 (Figura 5). Nas bandas B4 e B5, a reflectância das parcelas em 2011 foi significativamente menor que em 2009. Este resultado sugere menor resposta fotossintética da vegetação no ano de 2011, o que pode estar relacionado ao evento de seca ocorrido em 2010.

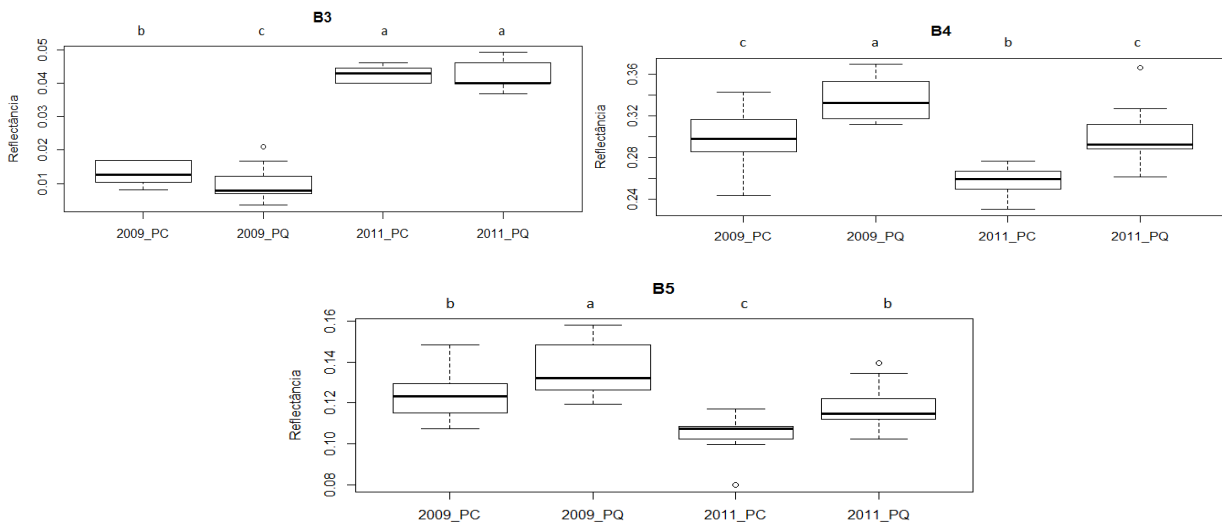


Figura 5. Testes de média ($\alpha = 0,05$) da reflectância de superfície nas bandas B3, B4 e B5 para as parcelas queimadas (PQ) e parcelas controle (PC) nos anos de 2009 e 2011.

Figure 5. Superficial reflectance boxplot of spectral bands B3, B4 and B5 in the burned plot (PQ) and control plot (PC) for 2009 and 2011.

Uma análise de anomalia de precipitação (Figura 6) mostra que 2010 foi um ano com maior anomalia negativa que 2008 no período da seca, indicando que a seca de 2010 por ter sido mais severa e afetou a vegetação alterando a resposta espectral observada em 2011. Da mesma forma, estudos mostram que eventos de seca como a que ocorreu em 2005 causaram alterações na estrutura e umidade do dossel florestal, sendo os efeitos persistentes e responsáveis por mudanças na resposta espectral relacionadas ao stress hídrico (SAATCHI *et al.*, 2013). É razoável, portanto, que uma menor complexidade do dossel tenha diminuído o efeito aditivo das reflexões nas bandas B4 e B5.

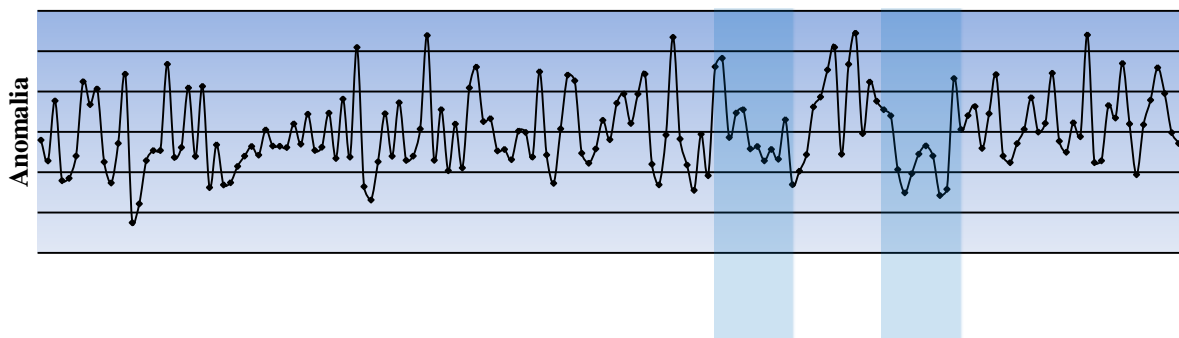


Figura 6. Anomalia da precipitação (mm) para o período de 2000 a 2013, com destaque para os anos 2008 e 2010 anteriores á aquisição das imagens sob análise.

Figure 6. Rainfall anomalies (mm) for the period 2000-2013, with emphasis on the years 2008 and 2010 prior to the acquisition of the images under analysis.

CONCLUSÕES

O fogo afetou a dinâmica florestal aumentando a perda de biomassa com a mortalidade dos indivíduos da maior classe de diâmetro. A partir dos dados de sensoriamento remoto identificaram-se alterações significativas entre as áreas e entre os anos. As bandas 3, 4 e 5 do sensor Landsat obteve maior sensibilidade às alterações causadas na floresta pelo fogo. O aumento das respostas espectrais nas bandas B4 e B5 podem estar ligados à abertura do dossel e maior aporte de luz que beneficiou o crescimento e produção de folhas novas em indivíduos com menor DAP em PQ. E a menor reflectância nas bandas B4 e B5 observado no ano de 2011 pode estar relacionado à maior anomalia negativa de precipitação em 2010. Tendo em vista que os efeitos do fogo compreendem mudanças no ciclo do carbono assim como na estrutura e dinâmica das florestas, faz-se necessário a realização de estudos em curto e longo prazo. Da mesma forma é importante que estes efeitos sejam analisados em áreas de floresta primária e de sucessões secundárias ao longo do gradiente amazônico, considerando que as consequências podem ser distintas devido à variabilidade ambiental. Neste contexto se torna fundamental o uso do sensoriamento remoto associado a dados climáticos e de uso e ocupação do solo.

REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, L.E.O.C. *et al.* Interactions between rainfall, deforestation and fires during recent years in the Brazilian Amazonia. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, v. 363, n. 1498, p. 1779-85, 2008.
- ARAGÃO, L.E.O.C.; SHIMABUKURO, Y.E. The Incidence of Fire in Amazonian Forests with Implications for REDD. in Science v. 328, p. 1275, 2010;
- BALCH, J.K. *et al.* Effects of high-frequency understorey fires on woody plant regeneration in southeastern Amazonian forests. Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences, v. 368, n. April, 2013.

- BARLOW, J. *et al.* Large tree mortality and the decline of forest biomass following Amazonian wildfires Ecology Letters, v.6 p. 6-8, 2003.
- BRIENEN, *et al.* Autocorrelated growth of tropical forest trees: Unraveling patterns and quantifying consequences. Forest Ecology and Management Série 237 Science Direct, p. 179-190, 2006.
- CANTY, M.J.; NIELSEN, A.A. Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation. Remote Sensing of Environment, v. 112, p. 1025-1036, 2008.
- CARVALHO, A. da R. *et al.* Plano de manejo da Reserva Particular do Patrimônio Natural Lote Cristalino. Alta Floresta, MT: Fundação Ecológica Cristalino, , 1º Ed. Red. p. 11-22, 2010.
- FREITAS, R.M. *et al.* Virtual laboratory of remote sensing series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America. Journal of Computational Interdisciplinary Sciences, 2:57-64. 2011. no prelo. (<http://epacis.org/jcis.php>).
- LIMA, A. *et al.* Land use and land cover changes determine the spatial relationship between fire and deforestation in the Brazilian Amazon. Applied Geography, v. 34, p. 239-246, 2012.
- MATTHEW, M.W. *et al.* Status of atmospheric correction using a MODTRAN4-based algorithm. Proceedings of SPIE, v. 4049, p. 199-207, 2000.
- MORTON, D.C. *et al.* Mapping canopy damage from understory fires in Amazon forests using annual time series of Landsat and MODIS data. Remote Sensing of Environment, v. 115, n. 7, p. 1706-1720, 2011.
- NEPSTAD, D.C. *et al.* Floresta em chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia. Brasília: Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil, p. 202, 1999.
- NOGUEIRA, E.M. *et al.* Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: New allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. Forest Ecology and Management V. 17, p. 10, 2008.
- OLIVERAS, I. *et al.* Application of remote sensing to understanding fire regimes and biomass burning emissions of the tropical Andes. Global Biogeochemical Cycles, v. 28, n. 4, p. 1-17, 2014.
- ROBERTS, D. Studies of land-cover, land-use, and biophysical properties of vegetation in the Large Scale Biosphere Atmosphere experiment in Amazônia. Remote Sensing of Environment, v. 87, n. 4, p. 377-388, 2003.
- SAATCHI, S. *et al.* Persistent effects of a severe drought on Amazonian forest canopy. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, v. 110, n. 2, p. 565-70, 2013.
- SALATI, E.; VOSEP, B. 1984. Amazon Basin: a system in equilibrium. Science 225: 129-138.
- SCARANELLO, M.A. da S. Dinâmica da comunidade arbórea de Floresta Ombrófila Densa de Terras Baixas e de Restinga no Parque Estadual da Serra do Mar, SP. Dissertação (Mestre em Ciências - área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.
- SCHROEDER, W. *et al.* A Distribuição Espacial e Variabilidade Interanual do Fogo na Amazônia. Amazônia e Mudança Global Série 186 de Monografias Geofísicas da American Geophysical Union. 2009.