

Análise da Severidade de Queimadas na Amazônia por meio de dados Hiperespectrais

João Paulo Fernandes Márcico Ribeiro¹

Gustavo Macedo de Mello Baptista¹

Universidade de Brasília, Instituto de Geociências – UnB/IG

Campus Darcy Ribeiro – Caixa Postal 4465 – 70910-900 – Asa Norte – Brasília – DF

jotafmr@gmail.com; gmbaptista@unb.br

Abstract. The fires can be detected by satellites through heat sources on Earth's surface or even by different spectral response in hyperspectral data. This study aims to determine the importance of using hyperspectral imaging in the analysis of fire severity, as well as the relation of atmospheric CO₂ content before, after, and during the regrowth. For this article, hyperspectral images obtained through the EO1 sensor / Hyperion was used. The data are located north of Porto Velho - RO, and correspond to the pre-fire, post-fire and regrowth period. The data were preprocessed to correct them radiometrically, geometrically and to remove systematic noise. After pre-processing steps was the implementation of the NBR index. For content analysis of atmospheric CO₂ in the air column adjacent to the targets ICO₂ index was applied. In general both index showed good responses with hyperspectral data. The NBR index identified some degraded areas such as fires. Values of ICO₂ in burned areas were higher than areas which has dense vegetation. Application of more complex indices for a more detailed analysis of burned areas is suggested.

Palavras-chave: Hyperion, NBR, Amazônia.

1. Introdução

A floresta Amazônia ocupa uma área superior a 6,5 milhões de km² abrangendo nove países na América do Sul (INPE, 2012), sendo 67% dessa área pertencente ao território brasileiro (AB'SABER, 1977).

Dentre os serviços ambientais oferecidos por esse bioma, destacam-se a biodiversidade, ciclagem de água e armazenamento de carbono (FEARNSIDE, 1997), sendo que esses serviços estão cada vez mais ameaçados por conta da ação antrópica, principalmente devido a agropecuária em larga escala e de práticas agrícolas relacionadas ao corte e a queima (RIVIERO et al., 2009).

Por conta dessas mudanças no uso do solo, essas áreas são sujeitas a alterações microclimáticas, como a elevação das temperaturas locais e consequente diminuição da evapotranspiração e chuvas, podendo assim prolongar o período de estiagem (ALVES et al., 1999).

Com o período de estiagem prolongado, os incêndios florestais nessa região que antes era considerada imune ao fogo por conta da sua alta umidade no seu interior (UHL, 1998), tornam-se mais frequentes (COCHRANE e SCHULZE, 1999).

Essa atividade é responsável pela emissão de grandes quantidades de gases e partículas de aerossóis para a atmosfera (FEARNSIDE, 2003), além de prejudicar o solo e todo o ecossistema local.

As novas técnicas de sensoriamento remoto vêm contribuindo cada vez mais na detecção de florestas recém-queimadas (ALENCAR et al., 2006; BROWN et al., 2006). O monitoramento por meio de satélites torna-se uma ferramenta de grande utilidade para mensurar o grau de impacto ocasionado por essas ações.

As queimadas podem ser detectadas por satélites por meio dos focos de calor sobre a superfície terrestre ou pela resposta espectral diferenciada em dados hiperespectrais. Esses

dados auxiliam na caracterização da superfície terrestre e na análise de sistemas ecológicos mais complexos (BAPTISTA, 2006).

Este trabalho tem como objetivo verificar a importância do uso de imagens hiperespectrais na análise da severidade das queimadas, bem como também na relação do conteúdo de CO₂ atmosférico antes, depois, e no período da rebrota.

2. Material e métodos

2.1 Área de Estudo

A região de estudo localiza-se ao norte de Porto Velho, no Estado de Rondônia (Figura 1). A área está dentro do bioma Amazônia, cuja a vegetação típica em sua maior parte é de floresta ombrófila aberta, e o restante de floresta ombrófila densa e floresta estacional semidecidual.

Segundo a classificação de Köppen, Rondônia possui um clima do tipo Aw – Clima Tropical Chuvoso, com média climatológica da temperatura do ar durante o mês mais frio superior a 18°C e um período seco bem definido durante a estação de inverno, a média anual da precipitação pluvial varia entre 1.400 e 2.600 mm/ano, enquanto a média anual da temperatura do ar varia entre 24 e 26°C (SEDAM, 2005).

Com o clima favorável para a criação de gado ou outras práticas agrícolas, o desmatamento dessas florestas é um dos maiores problemas ambientais da região.

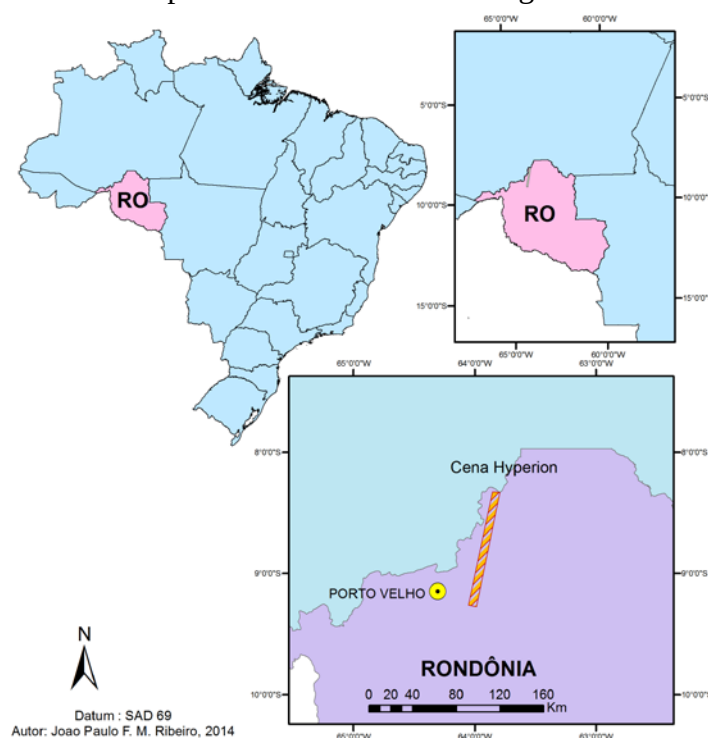


Figura 1 – Localização da área de estudo

2.2 Pré-Processamento

Foram escolhidas três imagens de satélite obtida pelo sensor Hyperion, instalado no satélite EO-1 (*Earth Observing-1*) da NASA, do período de 6 de setembro de 2012, 14 de setembro de 2012 e 7 de dezembro de 2012, no qual correspondem ao período de pré-fogo, pós fogo e rebrota. O critério de escolha foi baseado na menor quantidade de nuvens e grandes cicatrizes de queimada.

Por meio do software Envi 4.7 as imagens foram convertidas para o formato BIP (*Band Interleaved by Pixel*), formato que tem o primeiro pixel para todas as bandas, de modo sequencial, seguido pelo segundo pixel de todas as bandas, de modo sequencial e assim sucessivamente.

Após a conversão, as imagens foram corrigidas atmosféricamente, método que tem como objetivo a redução das distorções espectrais causadas pela absorção e pelo espalhamento da radiação eletromagnética consequente da interação com a atmosfera. O método utilizado para a correção atmosférica foi o FLAASH (*Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*), o complexo algoritmo baseia-se no modelo de transferência radiativa MODTRAN4 para remoção dos efeitos de espalhamento e absorção atmosférica (FELDE et al., 2003; ITT, 2009). Foi utilizada como altitude média de 0,150 km, com o modelo de aerossol Rural, visibilidade de 30 Km e modelo atmosférico Tropical.

As imagens resultantes da aplicação do FLAASH foram submetidas a uma divisão por 10 por meio do módulo de operações de bandas.

Para a remoção dos ruídos e redundâncias foi aplicado o *Minimum Noise Fraction*(MNF).

O pré-processamento para o ICO₂(BAPTISTA, 2004) segue com a primeira etapa de conversão para o formato BIP, depois o dado é transformado para radiância absoluta e submetido à aplicação do MNF.

2.3 Processamento dos Dados

Para identificação da área queimada e a severidade foi utilizado o índice espectral de queimada por razão normalizada NBR (KEY e BENSON, 2006). O NBR é um índice de diferença normalizada que baseia-se nos dados de reflectância referente às bandas 37 e 168 do instrumento Hyperion, no qual destacam-se as áreas queimadas e permite especializar sua severidade. A equação 1 apresenta o NBR.

$$NBR = (R_{37} - R_{168}) / (R_{37} + R_{168}) \quad (1)$$

Onde, R₃₇ corresponde a reflectância da banda 37 do instrumento Hyperion e R₁₆₈ corresponde a banda 168 do instrumento Hyperion. As bandas correspondem a 793,13 e 2365,2 nanômetros, respectivamente.

Para o cálculo do índice ICO₂ que mensura o conteúdo de CO₂ na coluna de ar adjacente foi utilizada a equação 2 no módulo *bandmath*.

$$ICO_2 = R_{111} - R_{108} \quad (2)$$

Onde R₁₁₁ corresponde a radiância absoluta da banda 111 do instrumento Hyperion e R₁₀₈ corresponde a radiância absoluta da banda 108. As bandas correspondem aos valores 2037,6 e 2007,6 nanômetros, respectivamente.

Segundo Baptista (2004), o índice espectral ICO₂ baseia-se na intensidade da feição de absorção do dióxido de carbono centrada à 2000nm e o procedimento é realizado por meio da diferença entre o ponto de mínima reflectância e suas bordas normalizadas por remoção do contínuo espectral.

Após aplicação dos índices as imagens foram registradas por meio do método imagem a imagem, para padronizar as coordenadas e remover a diferença de pixels entre as cenas.

Como o resultado é uma imagem que representa o conteúdo de CO₂ atmosférico na coluna de ar adjacente, aplicou-se um transecto por meio do módulo *Profile* do ENVI. O transecto foi aplicado também nas imagens NBR. Os valores foram dispostos numa planilha Excel e feito assim a etapa de regressão linear entre o NBR e ICO₂.

3. Resultados e Discussão

O resultado das imagens processadas gerando o índice NBR na região pode ser visualizado na figura 2.

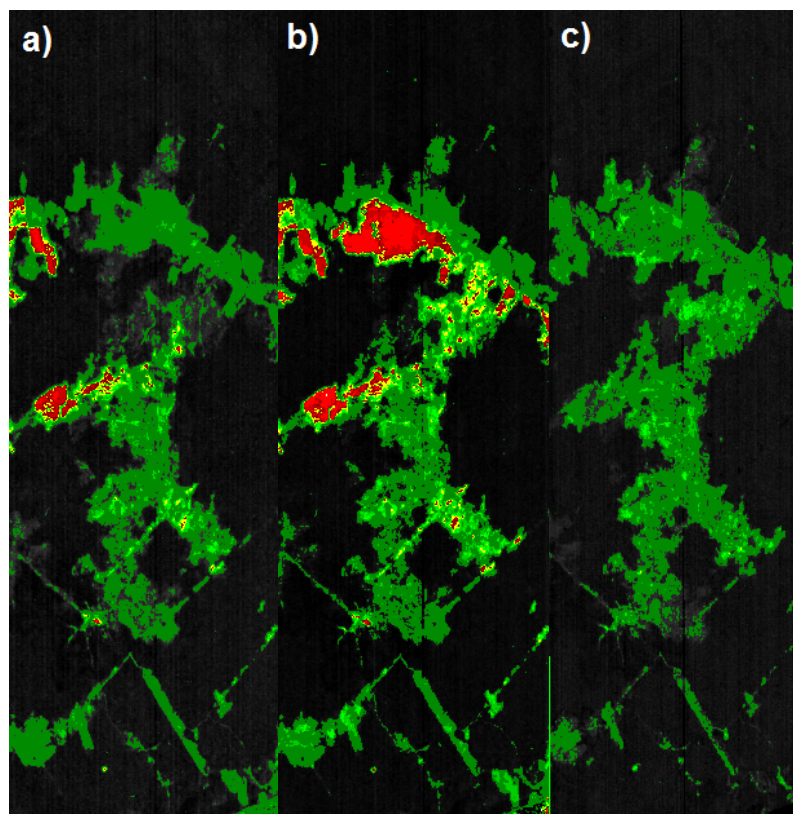


FIGURA2 -Aplicação do índice NBR para o período pré-fogo (a), pós fogo (b) e rebrota (c).

A figura 2 apresenta o conjunto de cenas com aplicação do índice NBR. Por meio do fatiamento de classes (*DensitySlice*) os valores foram divididos em classes que variam de acordo com severidade da queimada, conforme explicito na tabela 1. As tonalidades de verde variam de alta rebrota para área não queimada. A cor amarela representa baixa severidade e as tonalidades de vermelho severidade moderada baixa a moderada alta.

Tabela 1 – Escala de níveis de severidade do NBR

Nível de severidade	Legenda do mapa	Extensão
Alta rebrota		-500 a -250
Baixa rebrota		-250 a -100
Não queimada		-100 a +100
Baixa severidade		+100 a +270
Severidade moderada baixa		+270 a +440
Severidade moderada alta		+440 a +660
Alta severidade		+660 a +1300

Observa-se na imagem “A” da figura 2 que o índice identificou algumas áreas com alta severidade de queimada, no entanto nas demais localidades apresentaram como resultado alta rebrota. Em alguns locais da imagem é possível observar também baixa severidade. Essa imagem corresponde ao período pré-fogo.

A imagem “B” corresponde ao período pós-fogo apresentam mais áreas com alta severidade de queimada. É possível observar uma área maior com alta severidade de queimada e mais áreas com baixa severidade.

A imagem “C”, correspondente ao período de rebrota mostrou-se em sua maioria áreas com rebrota, destacando a área que foi atingida com maior intensidade no qual mostrou-se uma parcial rebrota.

Segundo Vasconcelos et.al. (2011), a floresta do tipo ombrófila aberta nessa região é bem vulnerável a queimadas, principalmente por conta de estradas e assentamentos adjacentes a mata que facilitam o acesso a essas áreas. Com os incêndios mais frequentes, a floresta torna-se altamente vulnerável a secas e a futuros incêndios (ASNER et al., 2006).

Vale destacar que fenômenos climáticos como o El Niño podem estar associados aos períodos de secas na região e, embora o fenômeno tenha variado sua ocorrência nos últimos 7000 anos (TURCQ et al., 1998), em estiagens prolongadas esses ecossistemas são considerados como sazonalmente inflamáveis (MALHI et al., 2008).

Em relação a rebrota deve-se salientar que o fogo pode ativar diversas sementes adormecidas (CIRNE & SCARANO, 1996), que dependendo da quantidade depositada no solo pode resultar numa rápida rebrota de vegetação mais vigorosa.

Com o índice NBR foi possível identificar as áreas queimadas, no entanto o índice também classificou áreas desmatadas como áreas queimadas. Isso ocorre devido à similaridade espectral da mata seca nas áreas desmatadas com as áreas queimadas.

A figura 3 apresenta o índice ICO₂. Por meio do fatiamento de classes (*Density Slice*), foi dividido em duas categorias, sendo a cor verde áreas com baixo conteúdo de CO₂ na coluna de ar adjacente e as cores vermelhas para os valores mais altos.

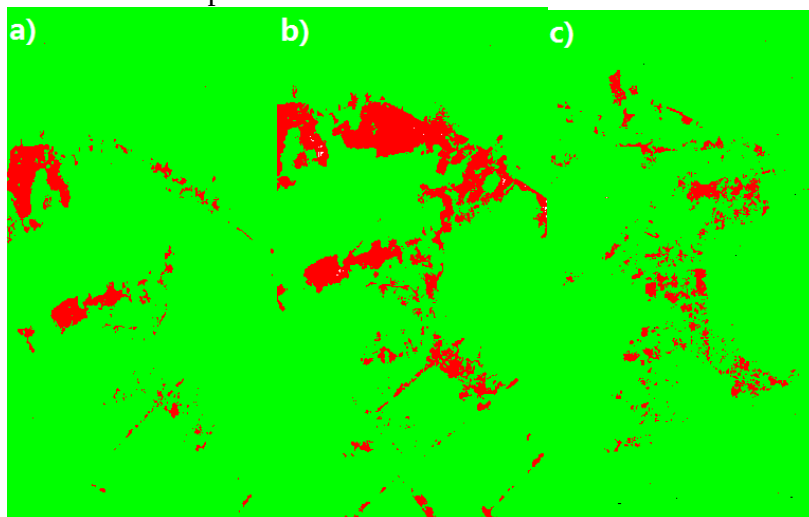


FIGURA 3 –Índice ICO₂. A figura 3a corresponde ao período pré-fogo; 3b, ao pós-fogo; e 3c à rebrota.

É possível observar na Figura 3a algumas áreas com maiores valores de gás carbônico na coluna de ar adjacente. Na figura 3b observa-se uma área maior com a classe vermelha. Segundo Baptista (2005) áreas com maior densidade florestal apresentam valores mais eficientes no sequestro de carbono, consequentemente baixos teores de CO₂ atmosférico. Na figura 3c, correspondente ao período de rebrota, observa-se uma diminuição na ocorrência das áreas de cor vermelha, devido ao aumento da vegetação que sequestra parte do CO₂ disponível na atmosfera.

Na figura 4, com a aplicação do transecto, os valores com picos de CO₂ destacam-se principalmente no período pós fogo, na região atingida com maior severidade de queimada. Isso pode ser explicado pela emissão de CO₂ que antes era estocado na vegetação e após a combustão da matéria orgânica foi liberado para a atmosfera. O período de rebrota assemelha-se com o período de pré-fogo, no entanto, observa-se neste período menores teores de CO₂.

Esse fato pode ser explicado por conta da reincorporação do CO₂ na vegetação, que nesse período rebrotou na maior parte das áreas anteriormente degradadas. Segundo Costa (2009) práticas de florestamento, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas minimizam o efeito do CO₂ na atmosfera, principalmente por conta do crescimento da vegetação, no qual

realiza fotossíntese, que remove parte do carbono da atmosfera, funcionando como uma espécie de sumidouro ou sequestro de carbono.

A imagem pré-fogo possivelmente está associada ao período que foi efetuado o corte da vegetação, que com a perda de água, a biomassa acumulada cada vez mais seca torna-se altamente comburente, ocasionando uma queimada de maior abrangência e intensidade (FRANÇA et al. 2007). O que também explica os altos valores de severidade no período pós-fogo em algumas regiões, como mostra a figura 5.

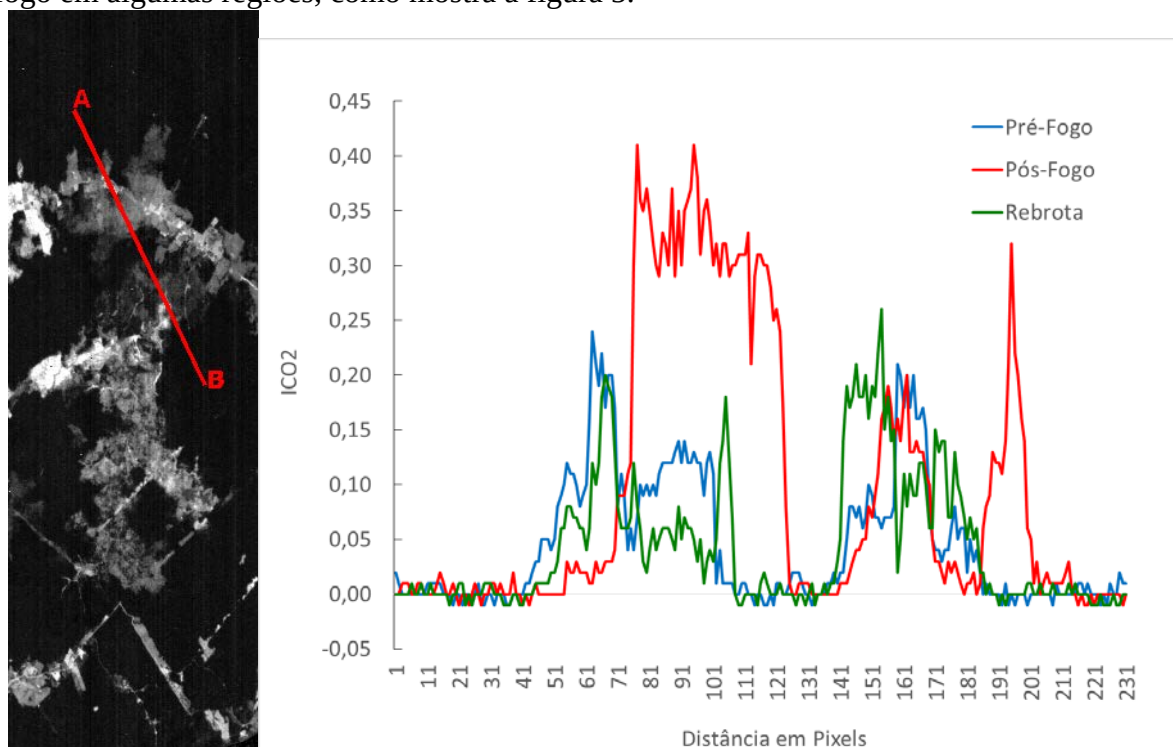


FIGURA 4 – Transecto identificando as áreas com diferentes níveis de ICO2.

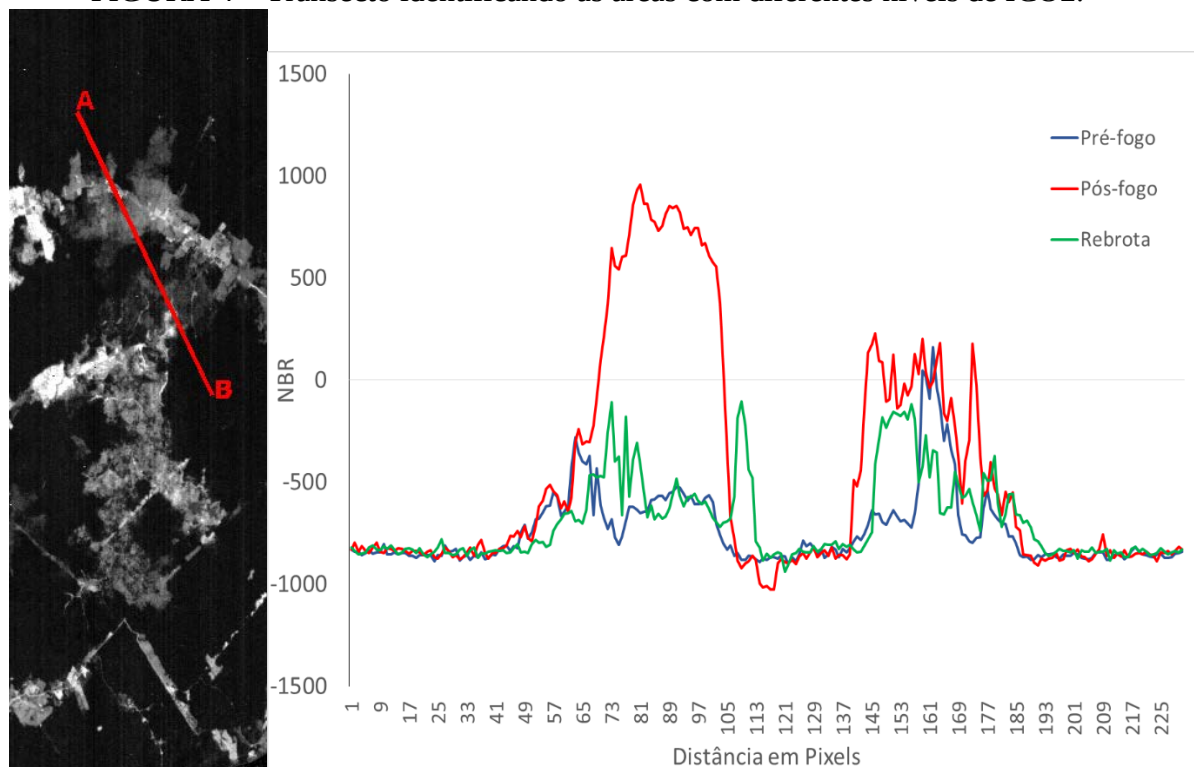


FIGURA 5 – Transecto identificando as áreas com diferentes classificações de severidade.

Como forma de demonstrar a relação entre os dois índices, buscou-se a regressão linear para os dados referentes ao período de pré-fogo. O valor de $R^2 = 0,83$, o valor considerado alto, sugere que boa parte dos valores resultantes da aplicação do índice ICO_2 podem ser explicados pelo índice NBR. Para o período pós-fogo e rebrota os valores obtidos de R^2 foram de 0,37 e 0,41, respectivamente.

Embora as dispersões apresentem picos nas mesmas regiões, o baixo valor resultante da regressão sugere que a partir do período pós-fogo as variáveis não se relacionam entre si. Esse comportamento é inverso ao encontrado por Teobaldo (2013), o que é coerente, pois esse autor investigou o sequestro florestal de carbono, enquanto nesse artigo, avalia-se o conteúdo de CO_2 na coluna de ar atmosférico que como adiantado por Baptista (2004) apresentou comportamento inverso.

4. Conclusão

As técnicas de sensoriamento remoto aplicadas às imagens de satélites mostraram-se uma grande na detecção e avaliação de cicatrizes de incêndio, podendo facilitar a análises temporais e espacial da ação do fogo na Amazônia.

Embora os dados hiperespectrais sejam bastante ruidosos as técnicas de pré-processamentos foram úteis para redução da redundância e ruído.

De maneira geral os índices espectrais utilizados NBR e ICO_2 mostraram-se úteis na identificação da severidade de queimada e também do conteúdo de CO_2 na coluna de ar adjacente, respectivamente. No entanto, no caso da severidade de queimada, sugere-se nas próximas etapas aplicação de índices mais complexos para relativização da vegetação e tentativa de diferenciação dos alvos de mata seca com áreas queimadas.

Referências Bibliográficas

ALENCAR, A., NEPSTAD, D., DIAZ, M. C. V. Forest understory fire in the Brazilian Amazon in ENSO and non-ENSO years: Area burned and committed carbon emissions. *Earth Interactions*. 6: 1–17. 2006.

ASNER, G., BROADBENT, E., OLIVEIRA, P., KELLER, M., KNAPP, D., and SILVA, J. Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103 (34), 12947-12950. 2006.

BAPTISTA, G. M. M. Mapeamento do sequestro de carbono e de domos urbanos de CO_2 em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectrais. *Geografia*, Rio Claro, v. 29, n. 2, p. 189-202, 2004.

BAPTISTA, G. M. M. Sensoriamento Remoto Hiperespectral: o novo paradigma nos estudos de solos tropicais. Brasília: Universa, 2006.

BOLETIM CLIMATOLÓGICO DE RONDÔNIA. Porto Velho: SEDAM, 2005. Anual.
Brazilian Amazon. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 103, 12947–12950. 2006.

CIRNE, P.; SCARANO, F.R. Rebrotamento após o fogo de andiralegalis (leguminosae) em restinga fluminense. In: MIRANDA, H.S.; SAITO, C.H.; DIAS, B.F.S. Anais do Simpósio Impacto das Queimadas sobre os Ecossistemas e Mudanças Globais. - 3º Congresso de Ecologia do Brasil. Universidade de Brasília. 1996.

COSTA, K.M; CAXAMBU, G.M. Sequestro de carbono: possibilidade de aplicação em áreas de preservação permanente e reserva legal. Campinas, 2009.

FEARNSIDE, P.M. Serviços ambientais como estratégia para o desenvolvimento sustentável na Amazônia rural. p. 314-344 In: C. Cavalcanti (ed.) Meio Ambiente, Desenvolvimento Sustentável e Políticas Públicas. Editora Cortez, São Paulo, SP. 436 p. 1997.

FELDE, G. W.; ANDERSON, G. P.; ADLER-GOLDEN, S. M.; MATTHEW, N. W.; BERK, A. Analysis of Hyperion data with the FLAASH atmospheric correction algorithm. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), Toulouse, 21–25 July. Proceedings. 2003, pp. 90–92, 2003.

FRANÇA, H., M.B. RAMOS-NETO, A. SETZER. 2007. O fogo no Parque Nacional das Emas. Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama). 140p.

INPE. 2012. Sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Brasília, 2012. Disponível em <http://www.inpe.br/>.

ITT Visual Information Solutions. Atmospheric correction module: QUAC and FLAASH user's guide. Version 4.7. Boulder, CO: ITT Visual Information Solutions, 2009.

KEY, C.H.; BENSON, N.C. Landscape Assessment (LA). In 'FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System'. (Eds DC Lutes, RE Keane, JF Carati, CH Key, NC Benson, LJ Gangi) USDA Forest Service, Rocky Mountains Research Station General Technical Report. 2006.

MALHI, Y.; ROBERTS, J. T.; BETTS, R. A.; KILLEEN, T. J.; Li, W.; NOBRE, C. A. Climate Change, Deforestation, and the Fate of the Amazon. *Science*, 319, 169-172. doi:10.1126/science.1146961. 2008.

MILLER, J.D.; THODE, A.E. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). *Remote Sensing of Environment*. 2007.

SPONSEL, L. E. Amazon ecology and adaptation. *Annual Review of Anthropology*, v. 15, n. 1, p. 67-97, 1986.

TEOBALDO, Débora. Sequestro florestal de carbono e avaliação de resiliência: o caso do incêndio no Parque Nacional de Brasília em 2010. Projeto final em Ciências Ambientais – Instituto de Geociências – UNB: Brasília, 2013. Disponível em: http://bdm.bce.unb.br/bitstream/10483/7469/1/2013_DeboraTeobaldo.pdf. Acesso em 23 de julho de 2014.

TEOBALDO, D.; BAPTISTA, G. M. M. Quantificação do Grau de Severidade de Queimada em Unidades de Conservação no Distrito Federal por meio dos Índices Espectrais dNBR e RdNBR. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu. Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto.

TURCQ, B., SIFEDDINE, A., MARTIN, L., ABSY, M. L., SOUBIES, F., SUGUIO, K., & VOLKMER-RIBEIRO, C. Amazonia rainforest fires: A lacustrine record of 7000 years, *Ambio*, 26(2), 139-142. 1998.

UHL, C. Perspectives on wildfire in the humid tropics. *Conservation Biology*, 12, 942–943. 1998