



CAPÍTULO 1

GESTÃO DE ÁREAS PROTEGIDAS POR SENSORIAMENTO REMOTO

DOI: <http://dx.doi.org/10.18616/planar01>

Gustavo Macedo de Mello Baptista

VOLTAR AO SUMÁRIO

INTRODUÇÃO

Desde que o homem deixou de ser um indivíduo coletor e passou a se fixar no espaço, as relações com o meio natural passaram a ser predominantemente de degradação. Mas a intensificação se verificou a partir da primeira revolução industrial, no século XIX, quando a produção em larga escala e a geração de impactos ambientais começaram a ser identificadas.

Mas relações de degradação ambiental se intensificaram e começaram a chamar atenção, mais especificamente, a partir dos anos 50, quando os primeiros grandes acidentes como os da baía de Minamata, no Japão, ou o derramamento de petróleo do SS Torrey Canyon, na Inglaterra, começaram a povoar as páginas dos jornais.

A necessidade de estabelecer relações saudáveis de ocupação do espaço e de um possível desenvolvimento econômico levaram a diversas discussões ao longo de nossa história recente, que culminaram no estabelecimento de uma série de instruções normativas que visaram a preservação de patrimônios para as gerações atuais e futuras.

Dentre essa linha das instruções normativas, a determinação de áreas legalmente protegidas, em mais diversos níveis de acesso e de restrição, levou à necessidade de monitorar se os patrimônios que foram preservados pelo instrumento legal, realmente se encontram protegidos.

E como assegurar que essas áreas realmente estão sendo preservadas ou estão sendo invadidas e impactadas por diversas atividades humanas, principalmente em área remotas e com grandes dimensões?

O presente ensaio visa apresentar o sensoriamento remoto como ferramenta poderosa nos estudos de gestão ambiental de áreas protegidas, principalmente, devido às potencialidades com os novos sistemas sensores, os hiperespectrais e os hipertemporais.

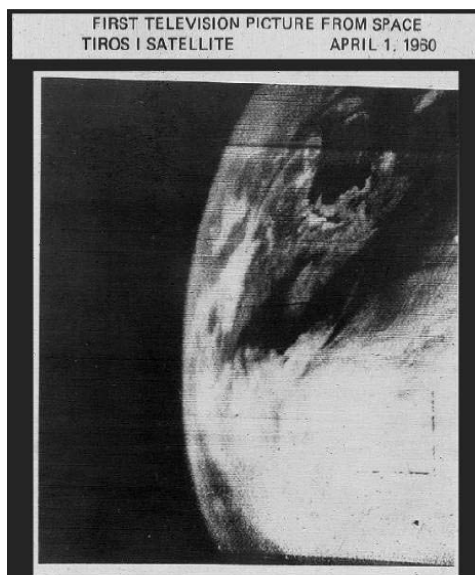
SENSORIAMENTO REMOTO

Entendido como a ciência de observação de alvos sem o contato físico direto entre o sensor e o objeto a ser investigado, o sensoriamento remoto surge como uma técnica, a partir dos anos 60, e logo se percebeu que monitorar o ambiente, vendo-o de cima seria uma possibilidade bastante importante.

Essa relação de observação, sem o contato físico entre sensor e alvo, só é possível, por meio da radiação eletromagnética, que se propaga no vácuo, e o que os sistemas sensores mostram é a relação entre os diversos alvos que compõem uma cena e essa radiação.

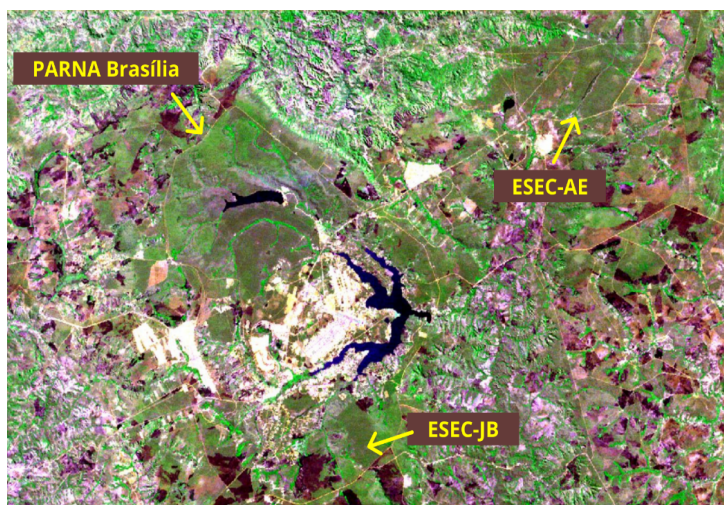
Os primeiros sensores orbitais utilizavam câmeras de televisão que captavam as imagens com baixa resolução, como pode ser visto na figura 1, que apresenta a primeira imagem meteorológica capturada em 1º de abril de 1960, pelo TIROS I.

Figura 1 - Primeira imagem do TIROS I.



Logo após esses sistemas de câmeras de tv, nos anos 70, surgem os primeiros sistemas multiespectrais orbitais, como o *MultiSpectral Scanner* – MSS, do ERTS-1, depois rebatizado de Landsat 1. Esses sistemas apresentavam bandas espectrais cobrindo faixas específicas do espectro e a possibilidade de processamentos digitais começaram a fazer parte das rotinas de trabalho. A figura 2, apresenta uma composição colorida do MSS de 1º de agosto de 1973, destacando o Distrito Federal e algumas das áreas preservadas, como unidades de conservação. O parque Nacional (PARNA) de Brasília e as Estações Ecológicas de Águas Emendadas (ESEC-AE) e a do Jardim Botânico (ESEC-JB).

Figura 2 – Composição colorida do MSS de 1º de agosto de 1973, destacando 3 UCs.

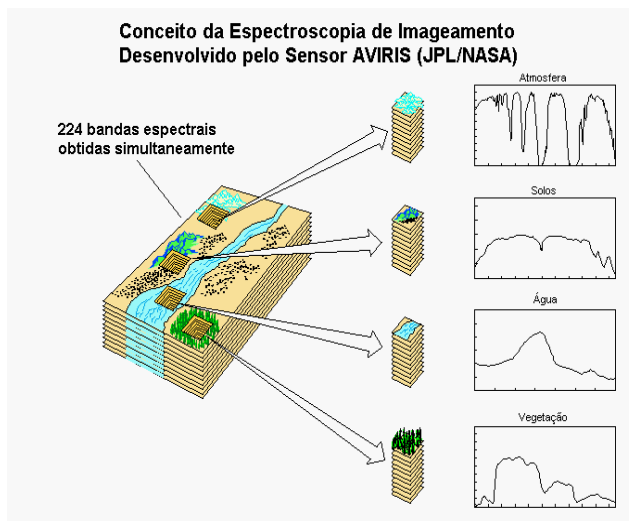


Os anos 90 foram marcados por algumas rupturas paradigmáticas, no âmbito do sensoriamento remoto, e pode-se destacar duas que foram extremamente importantes para a gestão de áreas protegidas: os sensores hiperespectrais e os hipertemporais.

SENSORIAMENTO REMOTO HIPERESPECTRAL

Sensoriamento remoto hiperespectral é um tipo de sistema sensor que se baseia na lógica da espectroscopia de imageamento. Por definição, espectroscopia é a área da ciência que estuda a REM como função do comprimento de onda em que está sendo refletida, emitida ou espalhada por um gás, um líquido ou um sólido. Normalmente, esse estudo era realizado por meio de espectrorradiômetros em laboratório ou em campo e o resultado obtido eram gráficos chamados de espectros de reflectância. Porém, com o avanço da tecnologia, a possibilidade de obtenção de centenas de bandas contíguas, ou seja, obtidas de forma contínua e sem levar em consideração as partes do espectro eletromagnético no qual a atmosfera é opaca, permitiram a construção de espectros de radiância ou de reflectância de cada pixel. A figura 3 representa a lógica da espectroscopia de imageamento.

Figura 3 – conceito da espectroscopia de imageamento. Adaptado de Baptista (2019).



Como pôde ser observado na figura 3, se a análise dos valores de reflectância ao longo de todas as bandas se der sobre um pixel de vegetação, o gráfico obtido é o espectro daquela vegetação imageada. Se for sobre solo, água, idem. Mas, há uma questão bem significativa nessa figura, pois, se você estiver trabalhando com dados brutos, sem a correção dos efeitos atmosféricos de absorção e de espelhamento, você pode inferir as feições de absorção dos gases de efeito estufa que atuam na faixa do espectro óptico refletido, ou seja, de 0,4 a 2,5 μm . Isso é extremamente importante, pois esses gases normalmente variam em função do uso e ocupação imageado e representam essa interferência na coluna de ar adjacente aos alvos (Baptista, 2004).

SENSORIAMENTO REMOTO HIPERTEMPORAL

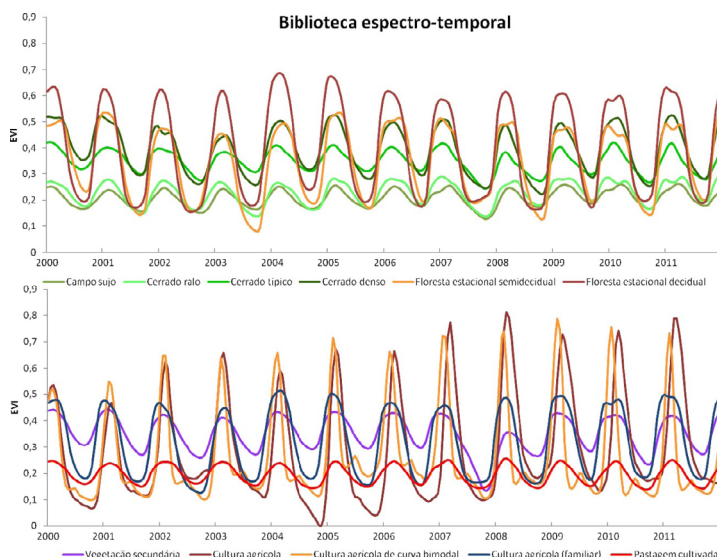
Além dos avanços verificados nas resoluções espectrais, a hipertemporalidade, bem como os produtos prontos para serem usados, foram duas tendências inauguradas com o sensor MODIS - *Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer* nos anos 2000.

O MODIS, instalado tanto na plataforma TERRA, como na AQUA, passou a obter dados a cada 1,1 dia e apresenta uma série de dados pré-processados *ready to use*. Esses produtos foram desenvolvidos por grupos de pesquisas espalhados pelo mundo e apresentam validações, a partir de dados coletados em campanhas de campo, em diversas localidades. São disponibilizados em 16bits e, por meio de um fator de conversão, são transformados para a escala do parâmetro que está sendo avaliado.

Além disso, a disponibilidade de bandas de qualidade dos dados, nos permitem investigar diversos parâmetros ao longo do tempo. E da mesma forma que nos dados hiperespectrais nos quais é possível obter o espectro de radiância/reflectância do pixel, em dados hipertemporais também é possível obter um espectro, só que temporal, de um parâmetro investigado.

A figura 4 apresenta diversos padrões temporais de uso e ocupação e é possível perceber a sazonalidade bem marcada nos vários espectros.

Figura 4 – Espectros temporais de diferentes usos e ocupações. Adaptado de Borges (2014).



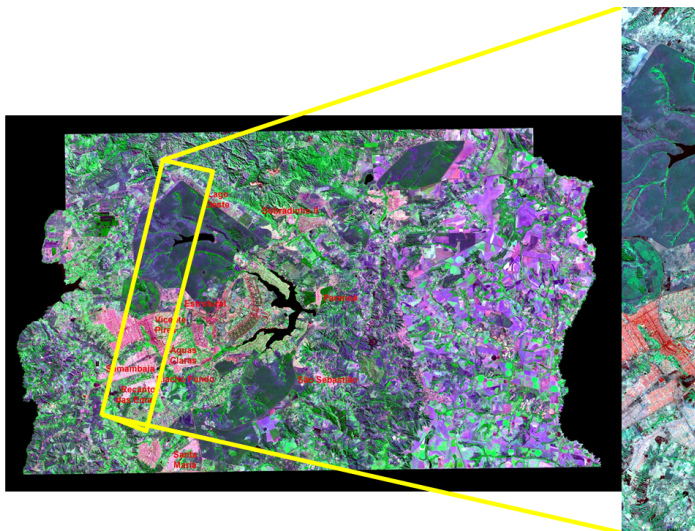
A hipertemporalidade é um elemento extremamente importante na gestão de áreas protegidas, pois, por meio da assinatura temporal é possível re-compor a história daquele pixel e, com isso, entender as pressões que essas áreas possam estar submetidas. A análise de detecção de mudanças é uma ferramenta muito poderosa, tanto para verificar se houve modificação, entendida quando se altera a característica da cobertura, sem mudar a sua classificação, ou se houve conversão, que ocorre quando mudança no tipo de cobertura da paisagem.

GESTÃO DE ÁREAS PROTEGIDAS POR SENSORIAMENTO REMOTO

Para exemplificar a potencialidade desses dois tipos de sistemas sensores, hiperespectral e hipertemporal, para a gestão de áreas protegidas serão utilizados partes de alguns trabalhos previamente desenvolvidos.

O primeiro foi desenvolvido por Baptista (2004), usando dados do sensor Hyperion. Esse sistema sensor hiperespectral fez parte da missão EO1 e era composto por 242 bandas que captavam o espectro óptico refletido de forma contígua. A figura 5 apresenta a área de estudos na cena de Brasília, que apresenta, em sua porção norte o PARNA Brasília, seguido pela FLONA Brasília e depois por quatro cidades que representam a área mais adensada e populosa do Distrito Federal.

Figura 5 – Área de estudos.



Pode-se notar que a cena Hyperion é estreita, com apenas 7,5 km de largura. Isso se deve à arquitetura do sistema sensor que, para privilegiar as 242 bandas, com 12 bits de resolução radiométrica, teve de abdicar de uma faixa mais larga de imageamento.

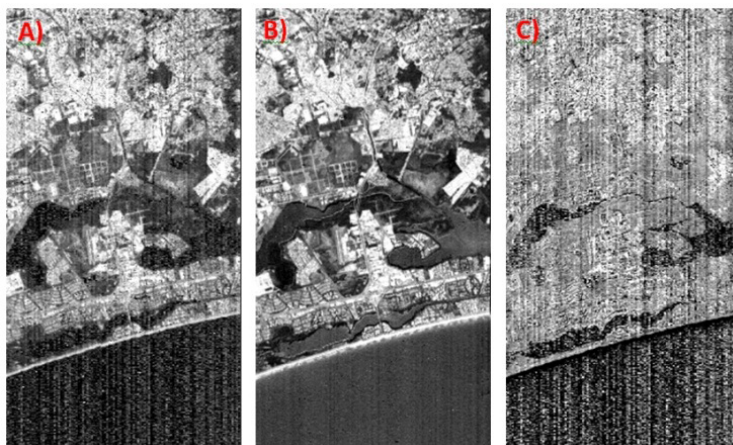
Essa cena foi utilizada pelo grupo coordenado pelo Dr. Alfredo Huete, quando implementaram o produto de índices de vegetação do MODIS, anteriormente citado, e que utilizaram o parque Nacional (PARNA) de Brasília

como um dos sítios de validação, tanto para o NDVI, como para o EVI – índice de vegetação melhorado (Huete *et al.*, 2002), proposto no produto MOD13.

Ela é bastante emblemática, pois, além de ter uma área protegida, apresenta a área mais populosa do Distrito Federal logo em seguida. Ou seja, o contraste entre unidade de conservação e área densamente ocupada faz dela uma cena especial para a avaliação da potencialidade dos sistemas sensores para gestão dessas áreas prioritárias.

Um dos problemas encontrados nos dados Hyperion é a baixa relação sinal/ruído, que exige esforço de pré-processamento radiométrico visando minimizar o ruído. Uma forma eficiente de se realizar esse processamento é por meio do algoritmo *Minimum Noise Fraction* – MNF, adotado para redução da dimensionalidade dos dados, além da minimização dos ruídos muito comuns nesse tipo de dado de baixa relação sinal-ruído (PEDROZA DA SILVA e BAPTISTA, 2015). A figura 6 apresenta o resultado da aplicação do MNF em dados Hyperion.

Figura 6 - Imagem ICO_2 sem correção (A), corrigida utilizando *Minimum Noise Fraction* (B) e imagem ruído computada pela diferença entre as imagens corrigida e não corrigida (C) em cena no Rio de Janeiro-RJ.

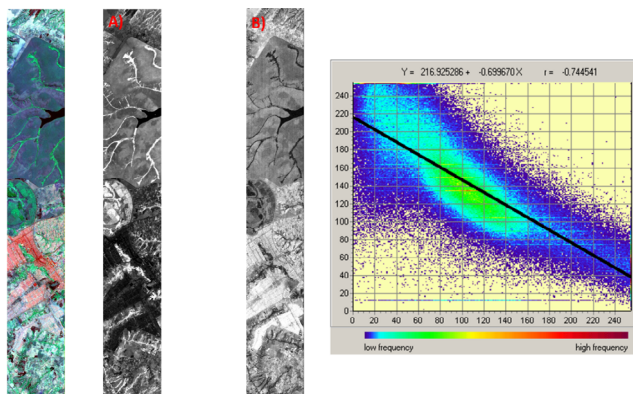


Após a minimização do ruído, foram aplicados os índices espectrais de sequestro florestal de carbono, o CO₂flux (RAHMAN *et al.*, 2000), a partir da integração dos índices NDVI (ROUSE *et al.*, 1973) e PRI (GAMON *et al.*, 1997). Esses índices calculam respectivamente o verdor da vegetação e o uso eficiente da luz no processo de fotossíntese, a partir dos dados corrigidos para os efeitos atmosféricos, bem como reduzidos à reflectância de superfície. Como resultado têm-se a espacialização do sequestro florestal de carbono durante a fase clara da fotossíntese, obtido na faixa espectral do VNIR, ou visível e infravermelho próximo.

Outro índice utilizado foi o ICO₂, proposto por Baptista (2004) que visa medir o conteúdo de CO₂ atmosférico presente na coluna de ar adjacente aos alvos imageados. Para tal, foram utilizados os dados brutos de radiância no nível do sensor, ou seja, sem a correção para os efeitos atmosféricos, o que obliteraria a feição principal do dióxido de carbono, centrada a 2,0 µm, ou seja, no SWIR ou infravermelho de ondas curtas.

Para verificar a eficiência dos dois índices é importante salientar que o primeiro, o CO₂flux é obtido no VNIR, a partir da profundidade de feições espectrais no azul e no vermelho, decorrentes da fotossíntese. Já o segundo, o ICO₂, mede a profundidade da feição do CO₂ atmosférico na região do SWIR. São processos distintos, porém integrados, pois, quanto mais fotossíntese uma vegetação desempenha, menos conteúdo de CO₂ atmosférico deve se encontrar na coluna de ar adjacente a essa vegetação. Ou seja, as imagens são inversamente proporcionais e se correlacionam de forma negativa. É o que é apresentado na figura 7.

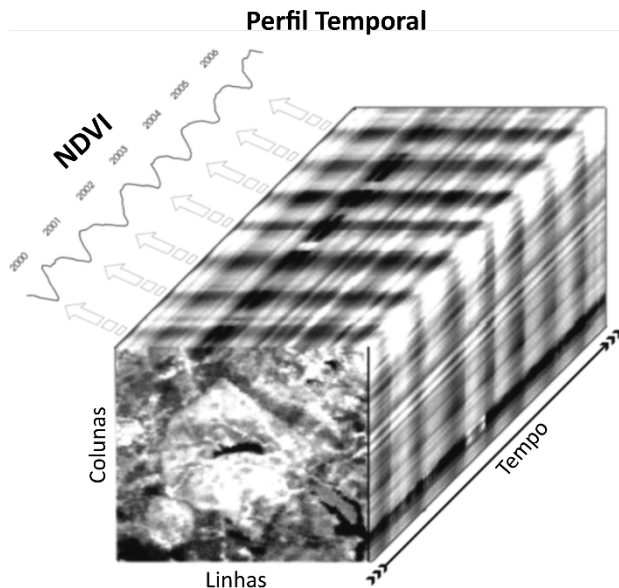
Figura 7 – Apresentação dos resultados da aplicação dos índices espectrais. A) CO2flux e B) ICO2, mostrando a correlação negativa entre eles.



Esses resultados mostram ser possível investigar a atividade fotos-sintética das áreas protegidas, bem como avaliar se essas áreas estão sendo pressionadas ou invadidas por atividades humanas.

A outra vertente apresentada neste capítulo é a possibilidade de monitoramento das áreas protegidas ao longo do tempo. Como citado anteriormente, a hipertemporalidade que alguns sistemas sensores apresentam é de grande importância, pois permitem a recomposição da história do pixel. A figura 8 apresenta a noção do cubo temporal destacando a área do PARNA Brasília.

Figura 8 – Cubo temporal. Adaptado de Carvalho Júnior *et al.* (2012)



Pode-se verificar que ao longo do tempo o valor do pixel vai se alterando. É muito comum a avaliação da sazonalidade sobre índices espectrais como forma de verificar a alteração existente no pixel.

Freitas e colaboradores (2011) apresentam o comportamento de um pixel que passou por um processo de conversão no parque Nacional do Xingú, no MT (figura 9). De abril de 2000 até dezembro de 2004, o pixel apresentava assinatura temporal de floresta. Em dezembro de 2004 estabelece-se o corte raso e desse período até setembro de 2007 a área se mantém com baixa biomassa. A partir de então se estabeleceu a área de plantio que apresenta sazonalidade bem marcada, com ciclos anuais no início e, depois de novembro de 2011, o estabelecimento de safra e safrinha, observado pelo padrão bimodal. Todas as análises foram obtidas a partir de dados de EVI2 (JIANG *et al.*, 2008), o índice de vegetação para sensores que não tem a banda do azul.

Figura 9 – Espectro temporal de EVI2 de um pixel no PARNA Xingú, MT. Adaptado de Freitas *et al.* (2011)



Esse exemplo de apenas um pixel mostra como é possível avaliar a história de uma área, bem como ela foi alterada. E como os dados estão disponíveis em um período muito curto de tempo, é possível avaliar ações que estejam acontecendo, bem como indicar aos órgãos competentes de fiscalização, onde devem ser executadas as ações prioritárias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este breve ensaio visou mostrar como o sensoriamento remoto é uma ferramenta poderosa nos estudos de gestão ambiental de áreas protegidas, principalmente quando associados às potencialidades dos novos sistemas sensores hiperspectrais e hipertemporais.

As técnicas de detecção de mudanças são aliadas importantes na análise, tanto de modificação, como de conversão nos padrões de uso e ocupação.

É fundamental a compreensão das limitações conceituais, metodológicas e de escala que cada produto de sensoriamento remoto apresenta para que as análises sejam compatíveis com o que se espera, em termos de monitoramento das áreas protegidas. Salienta-se que a necessidade de verificações de campo é sempre importante para dirimir as dúvidas que porventura surjam nas análises dos processamentos. Novos estudos devem ser incentivados para aprimorar a gestão de áreas protegidas por meio de dados de sistemas sensores.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA, G. M. M. Mapeamento do sequestro de carbono e de domos urbanos de CO₂ em ambientes tropicais, por meio de sensoriamento remoto hiperespectrais. **Geografia**, 29 (2), 189-202pp., 2004.

BAPTISTA, G. M. M. **Sensoriamento remoto hiperespectral**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2019.

BORGES, E. F. Discriminação e caracterização fenológica de classes de cobertura vegetal natural e antrópica do Oeste da Bahia a partir de séries temporais do sensor MODIS. 2014. 138 f. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas). Universidade de Brasília. Brasília, 2014.

PEDROZA DA SILVA, S. C.; BAPTISTA, G. M. M. ANÁLISES ESPECTRAIS DA VEGETAÇÃO COM DADOS HYPERION E SUA RELAÇÃO COM A CONCENTRAÇÃO E O FLUXO DE CO₂ EM DIFERENTES AMBIENTES NA AMAZÔNIA BRASILEIRA. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [s.l.], v. 21, n. 2, june 2015.

RAHMAN, A. F.; GAMON, J. A.; FUENTES, D. A.; ROBERTS, D.; PRENTISS, D.; QIU, H. Modeling CO₂ flux of boreal forests using narrow-band indices from AVIRIS imagery. In: AVIRIS Workshop. Proceedings. **Anais**, 2000. 8p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H., SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *In*: Proceeding of ERTS-1 Symposium. **Anais**, 309-317pp., 1973.

GAMON, J. A.; SERRANO, L.; SURFUS, J. S. The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. **Oecologia**, 112, 492-501pp., 1997.

CARVALHO JÚNIOR, O. A. *et al.* Combining noise-adjusted principal components transform and median filter techniques for denoising MODIS temporal signatures. **Brazilian Journal of Geophysics**, [s.l.], v. 30, n. 2, jun. 2012. ISSN 1809-4511, doi:10.22564/rbgf.v30i2.88.

HUETE, A., DIDAN, K., MIURA, T., RODRIGUEZ, E. P., GAO, X., FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment* 83(2002) 195-213, doi:10.1016/S0034-4257(02)00096-2.

JIANG, Z., HUETE, A. R., DIDAN, K., MIURA, T. (2008). Development of a two-band Enhanced Vegetation Index without a blue band, *Remote Sensing of Environment*, 112(10), 3833-3845, doi:10.1016/j.rse.2008.06.006.