

DETECÇÃO DE PROCESSO DE DEGRADAÇÃO EM ÁREAS DE PASTAGENS NO BIOMA CERRADO: UMA ANÁLISE BASEADA EM DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO DE RESOLUÇÃO ESPACIAL MODERADA

Claudinei Oliveira-Santos^{1,2}, Leandro Leal Parente^{1,3} e Laerte Guimarães Ferreira^{1,4}

¹LAPIG - Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento - UFG, CEP 74001-970 - Goiânia, GO, Brasil, www.lapig.iesa.ufg.br; ²claudineisantosnx@gmail.com; ³leal.parente@gmail.com; ⁴lapig.ufg@gmail.com.

RESUMO

A degradação de pastagens é um problema global que compromete a produtividade do setor pecuário, causando consideráveis impactos ambientais, sociais e econômicos. Assim, nos últimos anos a atenção da comunidade científica, governo, setor privado e sociedade civil tem se voltado para essa questão. No presente estudo, propõe-se um modelo de classificação das áreas de pastagens em função do ganho ou perda em produtividade e da condição inicial no período avaliado. O modelo foi avaliado para as áreas de pastagens do bioma Cerrado (período de 2011 a 2016), e possibilitou a estratificação da área total em cinco classes qualitativas: (1) Áreas em boas condições que ganharam produtividade, (2) áreas em boas condições que perderam produtividade, (3) áreas com indícios de degradação que ganharam produtividade, (4) áreas com indícios de degradação que perderam produtividade, e (5) áreas estáveis. Avanços são necessárias para tornar algumas etapas do modelo mais robustas e mais facilmente replicáveis.

Palavras-chave — Pastagens degradadas; MODIS; Cerrado; Produtividade de pastagens

ABSTRACT

Pasture degradation is a global problem that compromises the productivity of the livestock sector, causing considerable environmental, social and economic impacts. Thus, in recent years the attention of the scientific community, government, private sector and civil society has turned to this issue. In the present study, a classification model of pasture areas is proposed as a function of gain or loss in productivity and the initial condition in the period evaluated. The model was evaluated for pasture areas of the Cerrado biome (period from 2011 to 2016), and allowed the stratification of the total area in five qualitative classes: (1) Areas in good condition that gained productivity, (2) areas in good condition (3) areas with signs of degradation that have gained productivity, (4) areas with signs of degradation that have lost productivity, and (5) stable

areas. Advances are needed to make some model steps more robust and more easily replicable.

Key words — Degraded pastures; MODIS; Cerrado; Pasture productivity

1. INTRODUÇÃO

Considerando o aumento no consumo de proteína animal e as projeções de aumento na demanda por carne bovina nas próximas décadas, é esperado que os países líderes no setor agropecuário aumentem sua produtividade. No Brasil, a produção pecuária soma ~15% do volume global, e é mantida fundamentalmente por pastagens (~2018 mi de animais em ~179 mi hectares) [1], de modo que o sistema pecuário brasileiro depende essencialmente da produtividade das pastagens. Diante desse cenário, a atenção do governo, setor privado, comunidade científica e sociedade civil têm se voltado para uma das questões mais relevantes do setor: “como atender a demanda por aumento na produção de alimentos e ao mesmo tempo reduzir os impactos ambientais?” [2,3]. A solução dessa questão implica em uma gestão adequada do uso e ocupação do território.

Um dos principais desafios na gestão e principal causa de perda em produtividade no Brasil é a degradação de pastagens. A degradação de pastagens é um processo que acontece ao longo do tempo e se caracteriza pela perda de produtividade, geralmente associada a prática de manejo inadequado. Segundo alguns estudos, entre 50% e 70% das pastagens brasileiras apresentam indícios de degradação [4]. Por esta razão, várias iniciativas com o objetivo de mapear degradação de pastagens têm sido conduzidas.

O sensoriamento remoto orbital tem sido fundamental nesse processo, uma vez que o aumento na disponibilidade de imagens, combinado ao avanço de técnicas de análises e capacidade computacional tem possibilitado avaliar as mudanças de uso de cobertura da terra em uma escala sem precedentes [5]. Particularmente, as séries temporais de dados satelitários tem se mostrado uma alternativa viável tanto do ponto de vista computacional, quanto de disponibilidade de dados e sensibilidade às alterações no ambiente [6]. Dentre os dados de sensoriamento remoto mais utilizados para avaliar mudanças no ambiente está o

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), considerado um proxy do vigor vegetativo das pastagens [7]. Uma das séries temporais de NDVI mais consistentes é o produto MOD13Q1/MODIS, que apresenta resolução espacial de 250 metros e temporal de 16 dias, disponibilizado gratuitamente desde de fevereiro de 2000 [8]. Os dados Modis têm sido utilizados em vários estudos para mapear as áreas de pastagens e áreas de pastagens degradadas, detectar ações de manejo, estimar a capacidade de suporte potencial e determinar o vigor vegetativo em áreas de pastagens [1, 9, 7, 10]. Entretanto, mapear e monitorar o processo de degradação e recuperação em áreas de pastagens permanece um desafio.

O objetivo deste estudo foi propor e avaliar uma nova abordagem para mapear e monitorar indícios de degradação e recuperação de pastagens tropicais, utilizando análises de vigor da pastagem e anomalias no vigor da vegetação, baseadas em séries temporais de NDVI/MODIS, tendo como área de estudo as pastagens do bioma Cerrado. A hipótese avaliada é que a tendência de anomalias do NDVI realçam o ganho ou perda de produtividade, e combinadas a condição inicial da pastagem, possibilita classificar as áreas de pastagens quanto a degradação, recuperação e estabilidade.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende as pastagens do bioma Cerrado, que somam ~60 milhões de hectares (mha), ocupando cerca de 30% do bioma [1]. O bioma Cerrado se caracteriza por forte sazonalidade climática, com estações seca e chuvosa bem definidas e precipitação média anual variando entre 400 e 2400 mm, e temperatura média anual variando entre 18 e 27 °C [11].

A abordagem desenvolvida no presente trabalho foi aplicada e avaliada às áreas de pastagens do bioma Cerrado, pixel a pixel (~9.5 milhões). Para delimitar as áreas utilizou-se mapas de pastagem de 2005 e 2016, com 250 metros de resolução espacial [1], sendo consideradas apenas as áreas classificadas como pastagens em ambos os anos (~59.4 mha). Para a análise, foram utilizados os dados de NDVI (MOD13Q1/MODIS), para o período de 2005 a 2016. A abordagem de análise consiste em (a) determinar a qualidade inicial e tendência de produtividade das pastagens em um período de tempo a ser avaliado (PA = 2011 a 2016), tendo um período como referência (PR = 2005 a 2010), e (b) classificar as áreas de pastagens quanto à produtividade ao final do PA, de acordo com o fluxo de análise abaixo (Figura 1).

Suavização das séries temporais: Para remover outliers nas séries temporais de NDVI, foi aplicado o filtro *MaxMin*. Desenvolvido no Lapig; este filtro tem como diferencial a característica de não alterar todos os valores da série temporal, minimizando a perda de informações. O algoritmo *MaxMin* utiliza uma rotina para detectar os valores máximos

e mínimos em uma janela de observações, e uma função polinomial para encontrar e substituir os outliers.

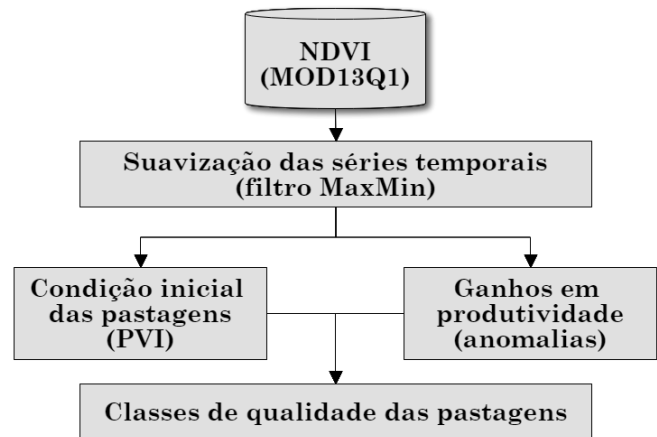


Figura 1 - fluxo de análise para discretização das áreas de pastagens do bioma Cerrado em classes de produtividade.

Condição inicial das pastagens: Para determinar a condição inicial das pastagens, utilizou-se o PVI - Pasture Vigor Index [7]. O PVI foi desenvolvido no Lapig com o objetivo de avaliar a qualidade das pastagens, e tem como diferencial o fato de integrar o vigor instantâneo e a tendência de vigor ao longo do tempo (Eq. 1). O PVI foi calculado para o PR, e 50% da área com os menores valores de pvi foi considerada área com indícios de degradação.

$$PVI = \frac{1}{1 + e^{-(z_\alpha + z_\beta)}} \quad z_x = \frac{x - \bar{x}}{s} \quad (\text{Eq. 1})$$

x = slope ou intercepto; \bar{x} = média do slope ou intercepto; s = desvio padrão; z_α = intercepto normalizado; z_β = slope normalizado.

Ganhos em produtividade: Para determinar a tendência de produtividade nas áreas de pastagens avaliadas, foi utilizada uma análise de detecção de anomalias em séries temporais. A anomalia é a diferença entre as observações de cada dia juliano do PA, conforme os diferentes *composites* MOD13Q1, e a média do respectivo dia juliano para o PR. Para obter a anomalia acumulada, foi aplicado um algoritmo de soma cumulativa às anomalias (Eq. 2). Por fim, uma análise de regressão linear foi aplicada à série temporal de anomalias acumuladas para obtenção da tendência de produtividade das pastagens na área avaliada.

$$\sum_{i=1}^{23} \sum_{j=1}^6 a_{ij} = A \quad a_{ij} = x_{ij} - \bar{x}_{ir} \quad (\text{Eq. 2})$$

\bar{x}_{ir} = Média de NDVI do período de referência por dia juliano; x_{ij} = NDVI do dia juliano i e ano j do período avaliado; A = soma cumulativa das anomalias.

Classes de qualidade da pastagem: Para classificar as áreas de pastagens quanto aos indícios de degradação e de recuperação, utilizou-se uma série de regras booleanas para combinar a condição inicial (PVI), a tendência (slope), a condição final (A) e a consistência da tendência observada nestas áreas (r^2). Foram geradas cinco classes indicadoras da qualidade das pastagens, sendo duas delas associadas 'a perda em produtividade, duas associadas 'a ganho em produtividade e uma associada 'a áreas de pastagens estáveis (Tabela 1).

Tabela 1. Critérios para definir as classes de pastagens do bioma Cerrado, por meio da condição inicial (C_i = PVI), ganho de produtividade (gp = Slope), condição final (A) e consistência da tendência (r^2).

| Classe | Critério |
|---|---|
| Pastagem degradada com perda de produtividade | $gp < 0$ e $C_i = 1$ e $r^2 > 0.4$ |
| Pastagem com perda de produtividade | $gp < 0$ e $C_i = 2$ e $r^2 > 0.4$ e $A < 0$ |
| Pastagem degradada com ganho de produtividade | $gp > 0$ e $C_i = 1$ e $r^2 > 0.4$ e $A > 0$ |
| Pastagem com ganho de produtividade | $gp > 0$ e $C_i = 2$ e $r^2 > 0.4$ |
| Pastagens estáveis | $gp < 0$ e $C_i = 2$ e $A > 0$ $gp > 0$ e $C_i = 1$ e $A < 0$ $r^2 < 0.4$ |

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando que ~50% da áreas de pastagens no bioma Cerrado apresentam algum estágio de degradação, conforme apontado por [4], foi considerado que todas as áreas com valor de PVI menor que 0.51 apresentam indícios de degradação (Figura 2). O valor de 0.51 foi determinado por meio de uma análise de quartis com probabilidade 0.5.

Por meio da análise de anomalia foi detectado que 42.5 % da área de pastagem apresentou tendência de perda em produtividade, e 57.5 % da área apresentou tendência de ganho em produtividade, incluindo áreas com pouca variação no período avaliado (baixo valor de A). Cerca de 4.6 % da área não apresentaram tendências significativa ($p > 0.05$). Isto sugere que apesar da melhora em produtividade em algumas áreas, que podem estar sendo recuperadas, um percentual significativo está perdendo produtividade, de modo que o percentual de áreas degradadas pode continuar próximo inicial.

Por meio da estratificação da área de pastagem em classes de perda e ganho de produtividade e áreas estáveis, de acordo com os critérios apresentados na Tabela 1, foi observado que cerca de 49.7 % da áreas de pastagens no cerrado apresentaram ganho em produtividade entre 2011 e 2016 (Figura 3). Sendo que 22.3 %, havia sido classificadas como estando em boas condições em 2010, e 27.4 % classificadas como estando com indícios de degradação.

Considerando que índices de vegetação como o NDVI são proxy do vigor das pastagens, as áreas em boas condições e que ganharam produtividade, provavelmente são as áreas mais produtivas no bioma Cerrado em 2016, ou áreas que estão em processo de regeneração ou degradação agrícola [4]. E as áreas com indícios de degradação que ganharam produtividade no período avaliado podem ser áreas que inicialmente degradadas, que foram recuperadas, podendo estar relacionadas a programas de recuperação de pastagens, como o plano ABC - Agricultura e Baixo Carbono.

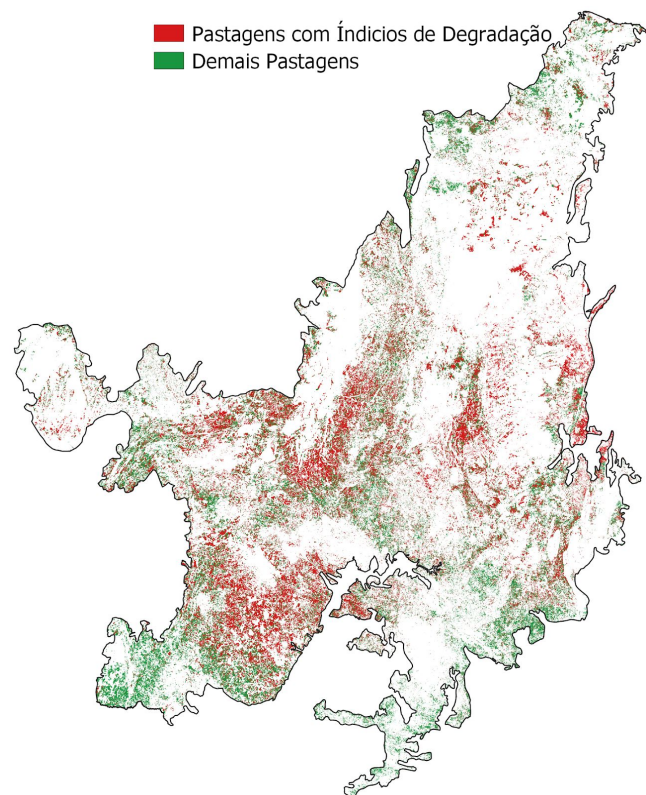


Figura 2 - Áreas de pastagens do bioma cerrado consideradas com indícios de degradação ($pvi < 0.51$) em 2010.

Foi observado que cerca de 28% da área de pastagens no cerrado perderam produtividade. Tendo cerca de 12 % sido classificadas como em boas condições em 2010. E cerca de 16 % haviam sido classificadas como áreas com indícios de degradação em 2010. A perda de produtividade em áreas classificadas como em boas condições no início do período avaliado é um indicativo de que estas estão em um processo de degradação e carecem de atenção imediata. E as áreas classificadas com indícios de degradação e que perderam produtividade, são as áreas em piores condições, provavelmente contendo as áreas com degradação biológica [4].

As áreas que não apresentaram mudanças significativas ($p > 0.05$), ou que apresentaram pouca associação entre as mudanças na produtividade e o tempo

($r^2 < 0.4$) somaram cerca 22.3 % da área das pastagens no bioma Cerrado. As áreas de pastagens consideradas estáveis permaneceram em sua classe inicial (em boas condições, ou com indícios de degradação).

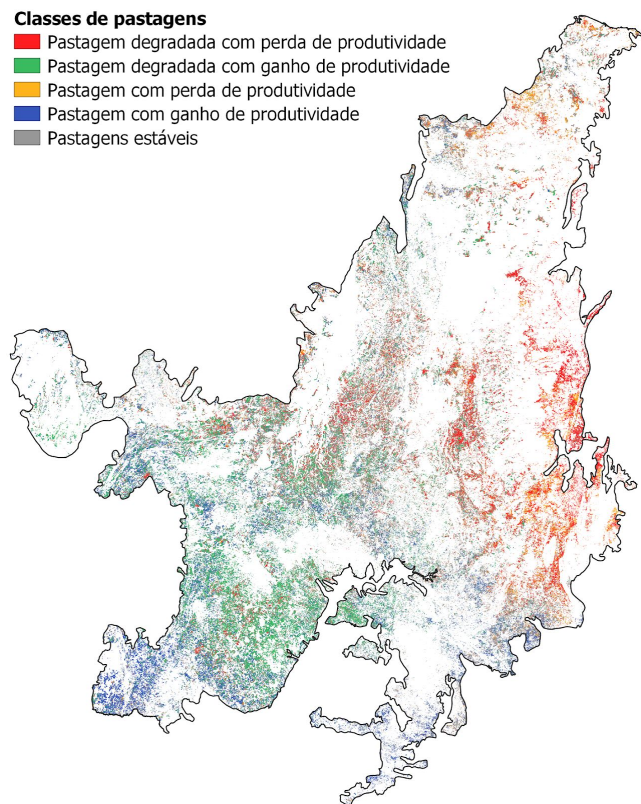


Figura 3 - Áreas de pastagens do bioma cerrado classificadas de acordo com a condição inicial em 2010, e ganho em produtividade entre 2011 e 2016.

4. CONCLUSÕES

A análise de anomalias acumuladas mostrou bom potencial para avaliar as tendências de produtividades e auxiliar na detecção de processo de degradação e classificação das áreas de pastagens em função da qualidade.

A lógica do modelo de classificação apresentado no presente trabalho possibilitou mapear a qualidade das pastagens no Cerrado em classes bem definidas, combinando a condição inicial das pastagens e a perda ou ganho de produtividade no período avaliado, estabelecendo um limiar abaixo do qual a produtividade é considerada estável.

Para obter resultados mais confiáveis é necessário validar os limiares aplicado ao PVI para considerar as áreas de pastagens como em boas condições ou com indícios de degradação, uma vez que o limite de 50% da área, aplicado com base na literatura fragiliza o modelo de classificação. Outro ponto que fragiliza o modelo é o piso usado para considerar as áreas de pastagens como estáveis, baseado no grau de associação entre as mudanças na produtividade e o

tempo (r^2), sendo necessário uma abordagem menos subjetiva.

Como próximos passos da pesquisa relacionada ao presente trabalho, pretende-se utilizar dados de campo para validar os limiares do PVI a serem utilizados para categorizar a condição inicial da pastagem, e para validar as classes finais de qualidade das pastagens, de modo a tornar o modelo de classificação mais robusto e replicável.

5. REFERÊNCIAS

- [1] Parente, L.L.; Ferreira, L.G., Assessing the Spatial and Occupation Dynamics of the Brazilian Pasturelands Based on the Automated Classification of MODIS Images from 2000 to 2016, 10, 606, 14/04/2018.
- [2] Lahsen, M.; Bustamante, M.M.C.; Dalla-Nora, E.L., Undervaluing and overexploiting the Brazilian Cerrado at our peril. Environment: Science and Policy for Sustainable Development, 58, 4-15, 09/11/2016.
- [3] Crist, E.; Mora, C.; Engelman., The interaction of human population, food production, and biodiversity protection., Science, 356, 260-264, 21/04/2017.
- [4] Dias-Filho, M.B., Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação. 4. ed. rev., atual. e ampl. Belém, PA, 2011.
- [5] MapBiomias. 2018. <http://mapbiomas.org/> (02/10/2018)
- [6] Bayma, A.P.; Sano, E. E., Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado, Bol. Ciênc. Geod., 21, 4, 797-813, 12/2015.
- [7] Arantes, A.E., Caracterização biofísica e potencial à intensificação sustentável da pecuária brasileira em pastagens, Tese (Doutorado em Ciências Ambientais), Universidade Federal de Goiás, 26/12/2017.
- [9] Aguiar, D.; Mello, M.; Nogueira, S.; Gonçalves, F.; Adami, M.; Rudorff, T. 2017., MODIS Time Series to Detect Anthropogenic Interventions and Degradation Processes in Tropical Pasture, Remote sensing, 9, 73, 1-20, 14/01/2017.
- [10] Gao, Q.; LI, Y.; Wan, Y.; Lin, E.; Xiong, W; Jiangcun, W; Wang, B.; Li W., Grassland degradation in Northern Tibet based on remote sensing data, J Geographical Sciences, 16, 2, 165-173, 17/03/2016.
- [8] LAPIG <https://www.lapig.iesa.ufg.br/lapig/> 02/10/2018
- [11] Sano, S.M.; Almeida, S.P.; Ribeiro, J.F., Cerrado: Ecologia e Flora, Embrapa Informação Tecnológica, 2, 1-279, 2008.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho, situado no âmbito da iniciativa MapBiomias (<http://mapbiomas.org>), teve o apoio da Fundação Gordon and Betty Moore (GBMF), da The Nature Conservancy (TNC), do WWF Brasil, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).