

PRIMEIRO CAPÍTULO

MAPEAMENTO DA QUALIDADE DAS PASTAGENS NO BIOMA CERRADO: UMA ABORDAGEM BASEADA EM SÉRIES TEMPORAIS DE DADOS SATELITÁRIOS

Claudinei Oliveira dos Santos

Mapeamento da qualidade das pastagens no bioma Cerrado: Uma abordagem baseada em séries temporais de dados satelitários

1. Introdução

A pecuária é um dos principais setores da economia e de produção de alimentos do Brasil (IBGE). Em escala global, a atividade pecuarista tem sido de fundamental importância na manutenção do crescimento e qualidade de vida humana, representando a principal forma de uso da terra (ocupando cerca de 70% das áreas agrícolas do planeta), e consequentemente, está diretamente relacionada a maioria dos processos de conversões de uso da terra (Costa et al., 2007; Lahsen et al., 2016). Assim, as pastagens representam tanto um grande potencial para impactos ambientais, quanto uma grande oportunidade para soluções ambientais inovadoras, por meio da adoção de práticas que equilibrem a eficiência na produtividade à sustentabilidade ambiental. Estas soluções passam por produzir mais em uma área menor por meio de ações de intensificação, mas também pela integração à outras atividades, como a integração lavoura, pecuária e floresta – ILPF (Spera, 2017; Spera et al., 2016).

Considerando as projeções de aumento na demanda por carne bovina nas próximas décadas, é esperado que países líderes no setor agropecuário, como o Brasil, aumentem sua produtividade. A produção da pecuária brasileira, que soma ~15% do volume global, é mantida fundamentalmente por pastagens. Assim, a alimentação do rebanho bovino brasileiro com cerca 218 milhões de animais, depende essencialmente da produtividade de cerca 178 milhões de hectares de pastagens atualmente cultivadas (Parente and Ferreira, 2018). Diante desta realidade, uma das questões mais relevantes do setor é como atender a demanda por aumento na produção de alimentos e ao mesmo tempo reduzir os impactos ambientais? (Crist et al., 2017; Lahsen et al., 2016). As respostas para esta questão passam por uma gestão adequada das áreas de pastagens e também pela intensificação das atuais terras agrícolas.

A degradação das pastagens é uma das principais causas de perda em produtividade no sistema pecuário Brasileiro e um dos principais desafios do setor atualmente. O processo de degradação das pastagens, que geralmente está associado a prática de manejo inadequado, ocorre ao longo de vários anos e se caracteriza pela perda de produtividade e redução na oferta de alimento para o gado. A degradação das pastagens pode ser classificada em dois principais tipos: degradação agrônômica ou biológica (Dias-Filho, 2015). A degradação agrônômica é caracterizada pela presença de regenerantes da vegetação nativa, comumente identificado como “pasto sujo”. Por outro lado, a

degradação biológica é caracterizada pelo empobrecimento do solo que passa a apresentar baixa fertilidade. Como resultado da perda de fertilidade dos solos, as pastagens com degradação biológica geralmente apresentam alta proporção de solo exposto. Vários são os fatores que podem levar ao processo de degradação das pastagens, mas a maioria estão ligados às práticas de manejo empregadas, o que inclui a escolha da forrageira, a lotação, a adubação, dentre outros (Lahsen et al., 2016; Spera, 2017).

No Brasil, estima-se que entre 50% e 70% das pastagens apresentam indícios de degradação (Dias-Filho, 2015). Estas pastagens degradadas são caracterizadas por apresentarem baixas taxas de produtividade e sequestro de carbono, sugerindo que as atuais taxas de produtividade no setor pecuário poderiam ser atingidas ocupando-se uma área menor de alto rendimento. Nesse sentido, alguns planos e ações têm sido desenvolvidos para aumentar a eficiência produtiva da pecuária, o que promoveria também a redução dos danos ambientais (Embrapa 2018). Exemplo disso é que em um dos acordos internacionais assumidos pelo Brasil, existe a meta de recuperar cerca de 15 milhões de hectares de pastagens degradadas (MAPA 2016). Na execução de planos e ações dessa natureza, está explícita a necessidade de mapear, compreender o funcionamento e classificar as áreas de pastagens de acordo com sua qualidade, identificando seu grau de degradação e destacando as áreas de pastagens com degradações avançadas, e consequentemente maior urgência em ações de recuperação. Várias iniciativas com o objetivo de avaliar a qualidade de pastagens utilizando dados satelitários têm sido conduzidas (Aguiar et al., 2017; Arantes, 2017; Gao et al., 2006), contudo ainda não existe um mapa de pastagens degradadas no Brasil que apresente boa resolução espacial e acurácia.

O sensoriamento remoto orbital tem sido fundamental nesse processo de mapeamento da qualidade das pastagens, uma vez que o aumento na disponibilidade de imagens, combinado ao avanço de técnicas de análises e capacidade computacional tem possibilitado uma melhor avaliação das mudanças de uso de cobertura da terra em uma escala sem precedentes (mapbiomas.org). Particularmente, as séries temporais de dados satelitários tem se mostrado uma alternativa viável tanto do ponto de vista computacional e de disponibilidade de dados, quanto a sensibilidade às alterações ambientais (Bayma and Sano, 2015). Dentre os produtos de sensoriamento remoto mais utilizados para avaliar mudanças no ambiente e na qualidade das pastagens, está o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), considerado como um “proxy” do vigor vegetativo e da produtividade de forragem das pastagens (Arantes, 2017). Uma das séries temporais de NDVI mais consistentes é o produto MOD13Q1/Modis, que apresenta resolução espacial de 250 metros e com intervalos de 16 dias, disponibilizado gratuitamente desde fevereiro de 2000 (maps.lapig.iesa.ufg.br).

Os produtos do Modis têm mostrado bom potencial para mapeamento de áreas da qualidade de pastagens, ações de manejo, estimativa da capacidade de suporte potencial e determinação do vigor vegetativo (Aguilar et al., 2017; Arantes, 2017; Gao et al., 2006; Parente and Ferreira, 2018; Wolfe et al., 2002). Entretanto por apresentar resolução espacial moderada (250 m), o MOD13Q1 não tem se provado adequado para avaliar a qualidade das pastagens em escalas mais finas, como à níveis de propriedades, que demanda dados de maior resolução, como os dados do satélite Landsat. Os dados do satélite Landsat apresentam resolução espacial de 30 metros e temporal de 16 dias, e tem se provado adequado para a classificação de uso e cobertura da terra (mapbiomas.org), mas não para a classificação da qualidade das pastagens, por não oferecer séries temporais consistentes, fundamentais para detecção dos processos de degradação, sendo necessário o uso de redutores para obtenção de imagens de boa qualidade para determinado período de interesse. Assim, uma análise integrando os dois conjuntos de dados (MODIS e Landsat), pode ser o caminho para melhor compreender o vigor histórico e também tendências atuais, que são informações fundamentais para determinar a qualidade de uma pastagem.

Este estudo teve dois objetivos principais: 1) propor e testar nova abordagem integrando dados de NDVI do MODIS e do Landsat para classificar e monitorar a qualidade das pastagens para o bioma Cerrado, por meio de uma análise de tendência no vigor nas pastagens; 2) entender como as variações temporais e espaciais na qualidade de pastagens do Cerrado se relaciona com a idade de conversão das áreas cultivadas e a produtividade bovina (*as análises e resultados do segundo objetivo estão em andamento*).

2. Material e métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo compreende as pastagens do bioma Cerrado, tendo por referência o mapeamento das áreas de pastagens realizado pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG - UFG) para o ano de 2017, disponível no atlas de pastagens (pastagem.org/atlas) (Figura 1). Considerando o referido mapeamento, as áreas de pastagens somam cerca de 62.3 milhões de hectares (mha), ocupando cerca de 30% do bioma, sendo de longe a principal forma e uso antrópico do solo. O bioma Cerrado se caracteriza por forte sazonalidade climática, com estações seca e chuvosa bem definidas, precipitação média anual variando entre 400 e 2400 mm e temperatura média anual variando entre 18 e 27 °C (Silva et al., 2008).

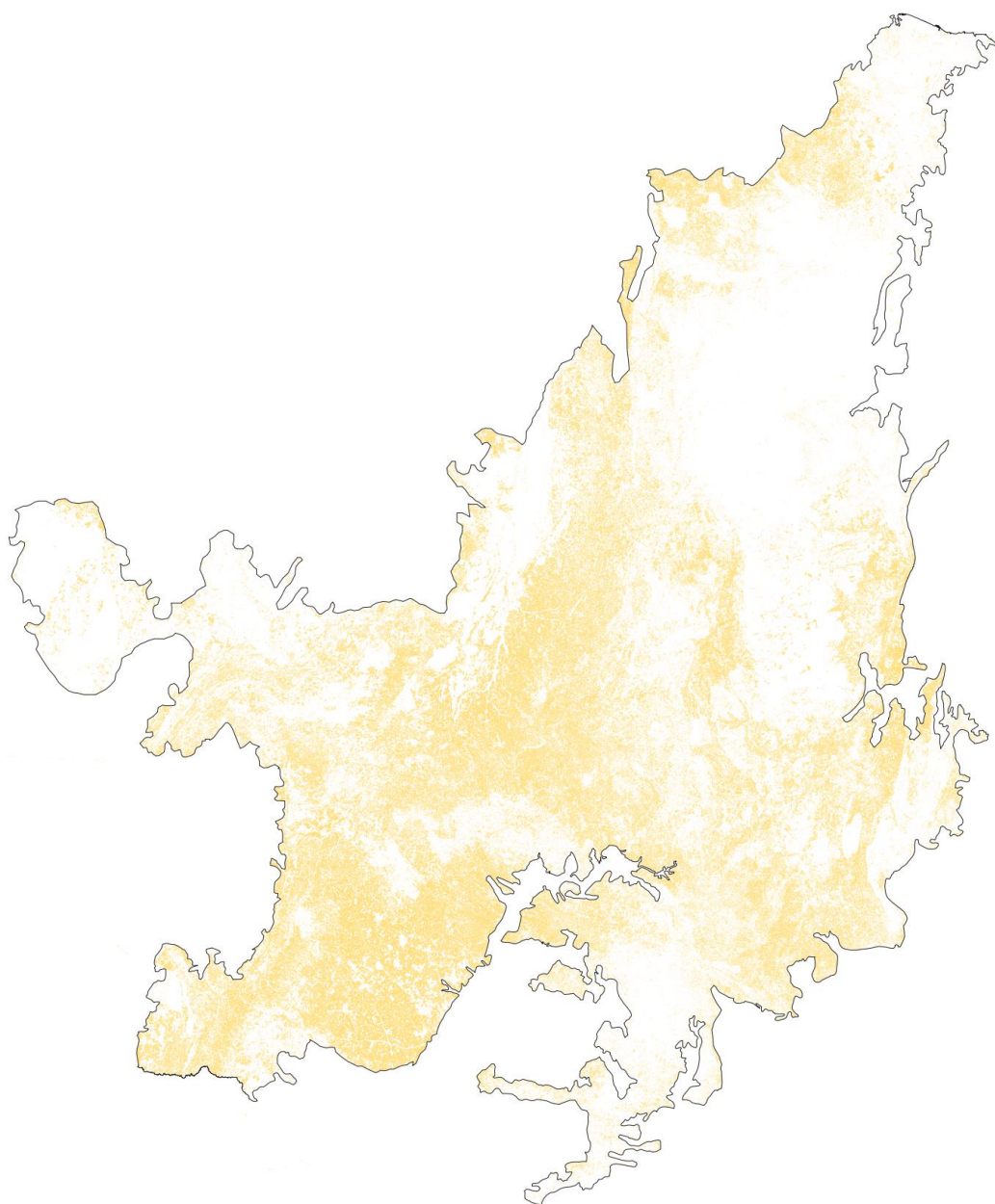


Figura 1. Áreas de pastagens no bioma Cerrado em 2017, mapeadas pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da UFG - LAPIG, disponível no Atlas de pastagens mantido pelo referido laboratório (Link: <https://pastagem.org/atlas/map>).

2.2. Abordagem de análise

A abordagem de análise aqui apresentada para mapear a qualidade das pastagens no bioma Cerrado assume a premissa que o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) obtido a partir de dados satelitários é um bom proxy do vigor vegetativo, e consistiu em três etapas principais: (a) Estimar a tendência de perda ou ganho de vigor a partir de um intervalo de tempo pré-definido (2005 - 2017), (b) estimar o vigor atual (2017 - 2018), e (c) determinar um índice de qualidade combinando a tendência de vigor e vigor atual das pastagens, gerando um mapa de qualidade das pastagens referente ao ano de 2018, com resolução espacial de 30 metros (figura 2).

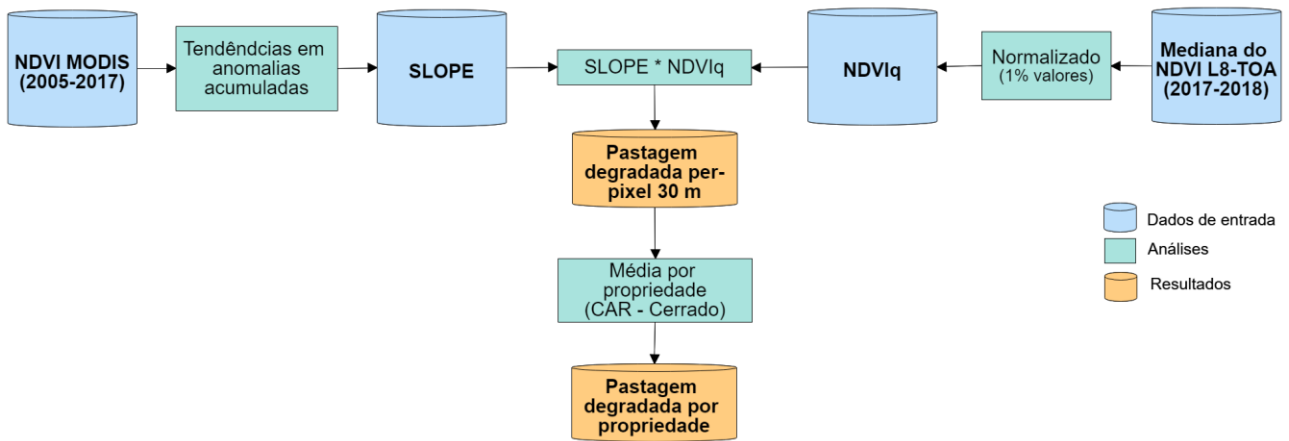


Figura 2. Abordagem de análise para mapear a qualidade das pastagens no bioma Cerrado a nível de pixel (30 m de resolução espacial) e a nível de propriedades, a partir de dados satelitários de resolução moderada (Modis 250 m), de alta resolução (Landsat), e limites de propriedades considerando os limites estabelecidos no CAR - Cadastro Ambiental Rural.

2.3. Tendências de perdas e ganho em vigor

Para determinar a tendência de perda ou ganho de vigor das pastagens foram utilizados os dados de NDVI do sensor Modis (MOD13Q1), tendo em vista que esses dados constituem a série temporal de dados satelitários mais consistente a cobrir todo o período de interesse. Para cada pixel foi aplicada uma análise de anomalias, tendo como “baseline” o período de 2005 a 2010 e avaliado o período de 2011 a 2017. Nestas séries de anomalias foi aplicada uma soma cumulativa, resultando em uma série temporal de anomalias acumuladas, o que tende a realçar a perda ou ganho de vigor. E por fim, foi aplicada uma análise de regressão linear, sendo o slope (β) desta regressão considerado o indicador de ganho ou perda de vigor (Equação 1 e Figura 2 e 3).

Equação 1

$$\sum_{i=1}^{23} \sum_{j=1}^6 a_{ij} = A \quad a_{ij} = x_{ij} - \underline{x}_{ir}$$

\underline{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.

Os valores de “slopes” foram normalizados pixel a pixel, por meio da subtração do valor mínimo e divisão pela amplitude (equação 2). De modo que, os valores de “slopes” passaram a variar entre 0 e 1, onde as áreas com perda de vigor apresentam valores mais próximo de 0 e as áreas com ganho de vigor apresentam valores mais próximos de 1, passando a ser denominado Slope_q (Slope qualidade).

Equação 2

$$X_{norm} = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

X_i = Valor do pixel i a ser normalizado;

X_{min} = Média de 1 % dos pixels de menor valor;

X_{max} = Média de 1 % dos pixels de maior valor;

X_{norm} = Valor do pixel i normalizado.

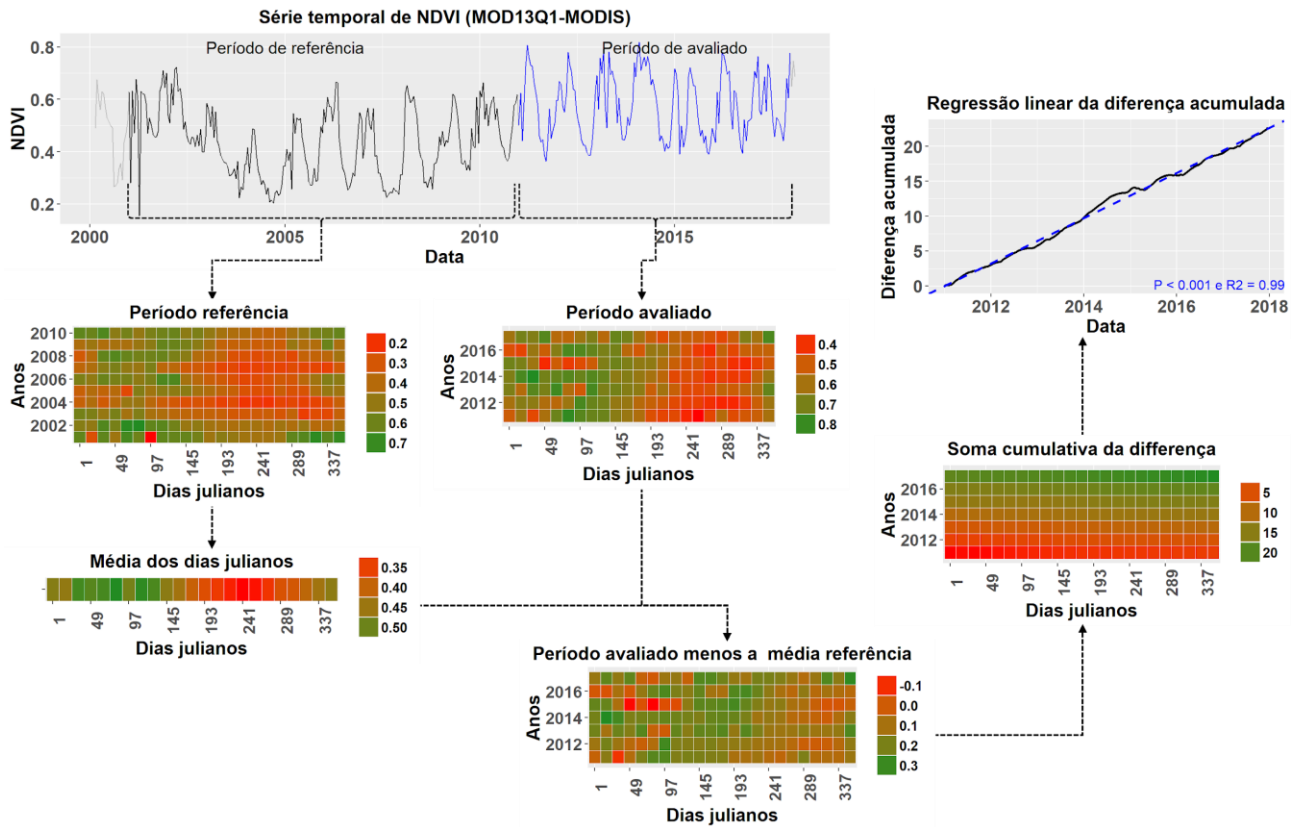


Figura 3: Análise de perda ou ganho em produtividade aplicada pixel a pixel aos dados de NDVI do sensor MODIS (MOD13Q1), tendo como referência o período de 2005 a 2010, e avaliado o período de 2011 a 2017. Os dados de NDVI consiste em 23 composites anuais, e o baseline consiste na média de cada composite para o período de avaliado, resultando em 23 composites médios (baseline). Para composite do período avaliado foi calculada a diferença em relação aos respectivo composite médio, obtendo-se uma série de anomalias para o período avaliado, à qual foi aplicada uma soma cumulativa, com a finalidade de evidenciar a perda ou ganho de vigor ao longo do período avaliado.

2.4. Vigor atual das pastagens

Para determinar o vigor atual das pastagens foi utilizado o NDVI do satélite Landsat 8, uma vez que esse conjunto de dados apresenta alta resolução espacial (30m), e consequentemente maior detalhamento que os dados de resolução moderada do sensor Modis. A análise consistiu em gerar uma imagem de mediana do NDVI considerando o período chuvoso de um intervalo de tempo equivalente a dois anos, com o objetivo de obter uma informação representativa localmente. Para isso, foram utilizados os dados janeiro de 2017 a dezembro de 2018, removendo-se 25% das observações de menor valor (primeiro quartil). Os valores de NDVI das áreas de pastagens foram

então normalizados (equação 2), considerando a máscara de pastagem de 2017, passando a ser denominado $NDVI_q$ (NDVI qualidade). O $NDVI_q$ varia entre 0 e 1, com os valores mais próximos de 0 correspondentes às áreas de menor vigor, e os mais próximos de 1 às de maior vigor.

2.5. Classes de qualidade a pastagem

A tendência de perda ou ganho em vigor ($Slope_q$) e o vigor atual das pastagem ($NDVI_q$) foram integrados por meio de uma operação aritmética de multiplicação, considerando o mesmo peso para ambas as informações. O resultado foi normalizado de acordo com a equação 2, obtendo-se um índice de qualidade das pastagens variando entre 0 e 1, sendo 0 as áreas de pastagens mais degradadas e 1 as áreas de pastagens de melhor qualidade (Figura 2).

O índice gerado foi discretizado em cinco classes de qualidade das pastagens, (*degradação severa, degradação moderada, regular, produção média e produção alta*) (Figura 4), de modo a se obter um mapa de qualidade das pastagens no bioma Cerrado para o ano de 2018, com resolução espacial de 30 metros. E para cada propriedade de terra privada, considerando a base do Cadastro Ambiental Rural (IMAFLOA), foi determinada a qualidade da pastagem predominante, resultando em um

mapa de qualidade das pastagens a nível de propriedades.

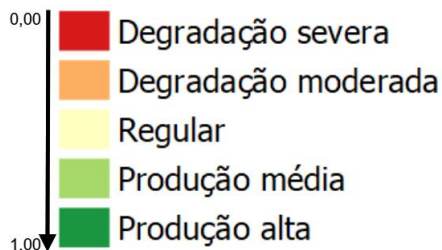


Figura 4: Classes de qualidade das pastagens no bioma Cerrado, de acordo com o índice gerado a partir da abordagem apresentada neste trabalho. O índice considera a qualidade (vigor) atual das pastagens, bem como a tendência de melhora ou degradação (ganho ou perda de vigor) nos últimos oito anos, em relação a um baseline pré-estabelecido.

3. Resultados e discussão

Os resultados obtidos por meio da análise de tendência histórica do vigor indicam, que cerca de 42% das áreas de pastagens apresentaram perda em produtividade, e cerca de 58% das áreas apresentaram tendência de ganho em produtividade, incluindo áreas com pouca variação no período avaliado (baixo valor de $Slope_q$). A perda de vigor é um indicativo de que estas pastagens estão em um processo de degradação biológica e que uma intervenção de manejo pode ser necessária. Estes resultados sugerem que apesar da melhora em produtividade em algumas áreas, que podem ter sido recuperadas, um percentual significativo está perdendo produtividade, de modo que o percentual de áreas de pastagens degradadas no bioma Cerrado pode ser mantido ao longo do tempo.

Por meio da estratificação da área de pastagem em classes de qualidade, foi observado que cerca de 40% das áreas de pastagens foram classificadas como apresentando algum nível de degradação, e menos de 20% como apresentando produtividade acima de um nível regular (Figura 5). Estes resultados estão de acordo com o observado na literatura, que apontam que entre 40% e 60% das pastagens no bioma Cerrado apresentam algum estágio de degradação. Para melhor compreender esses padrões, pretende-se gerar uma série histórica de mapas de qualidade das pastagens por meio do método de análise proposto, e com isso avaliar o histórico e vetores de transição entre as classes nas diversas regiões do bioma Cerrado.

A distribuição espacial da qualidade das pastagens nas regiões do bioma Cerrado aponta que as áreas de pastagens que se encontram na região nordeste apresentam estágios de degradação mais avançadas, quando comparado com a porção *core*, norte e sul do bioma. Enquanto que as áreas de pastagens da região centro-sul apresentam níveis de produtividades mais elevados (Figura 5). Esses padrões são fortemente influenciados pela diversidade de condições edafoclimáticas observadas ao longo do bioma, que resulta em diferentes potenciais de produtividade nas diversas regiões do bioma.

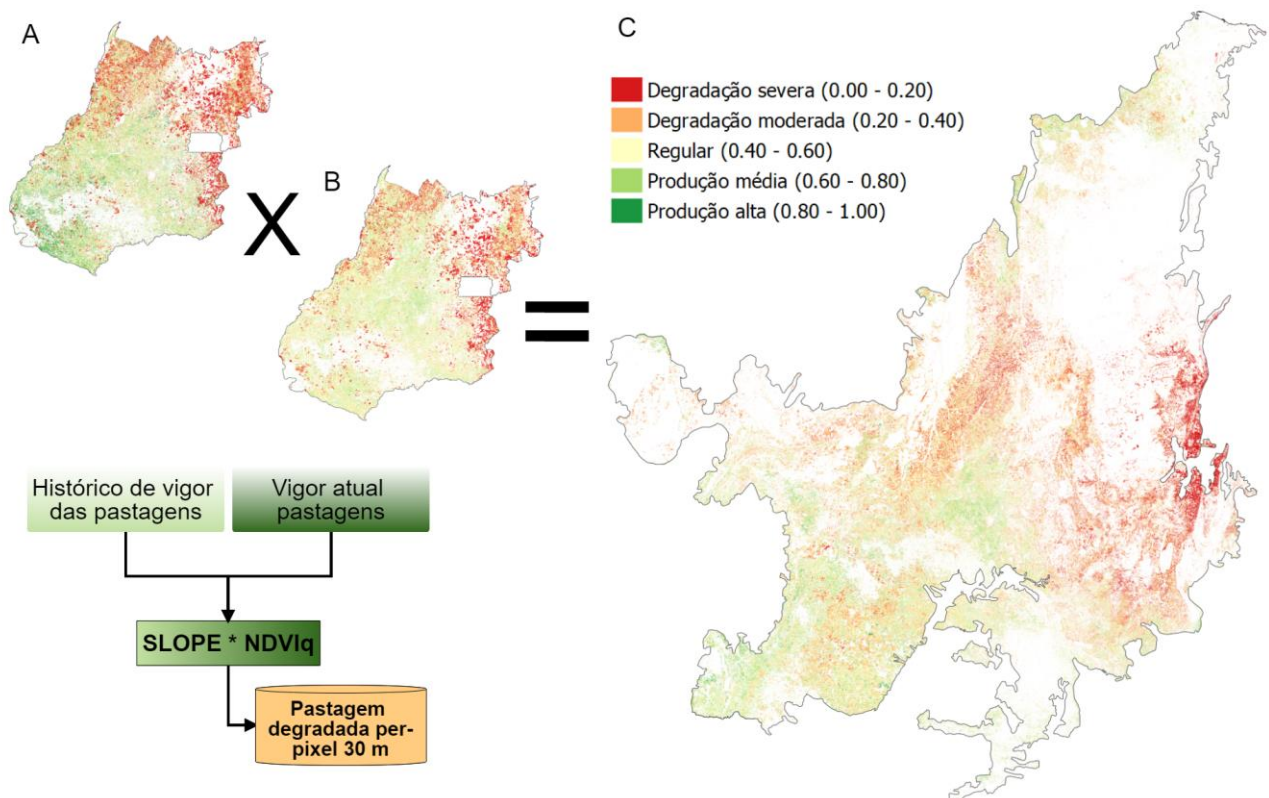


Figura 5: Qualidade das pastagens no bioma Cerrado classificadas a partir de índice integrado informações históricas de resolução moderada (250m) e atual de alta resolução (30m). (a) Tendência de ganho e perda em vigor, o (b) vigor atual das pastagens, e (c) qualidade das pastagens no bioma Cerrado no ano de 2018 (resolução espacial de 30 metros).

Os resultados observados na figura 5 sugerem que a normalização regional do índice resulta em maior detalhamento da qualidade das pastagens, quando comparado à normalização para todo o bioma (Figura 2). Por meio da normalização regional, observou-se que a qualidade das pastagens na Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV), em mais de 70% da área foi classificada como estando em melhores condições que se considerada a normalização para todo o bioma Cerrado, sugerindo que para análises em área muito extensas maiores percentuais de área podem apresentar qualidade das pastagens mascaradas pelos limites superior e inferior de qualidade. Sendo esta uma alternativa de análise para, de forma indireta, considerar as condições ambientais e potencial de produtividade de cada região.

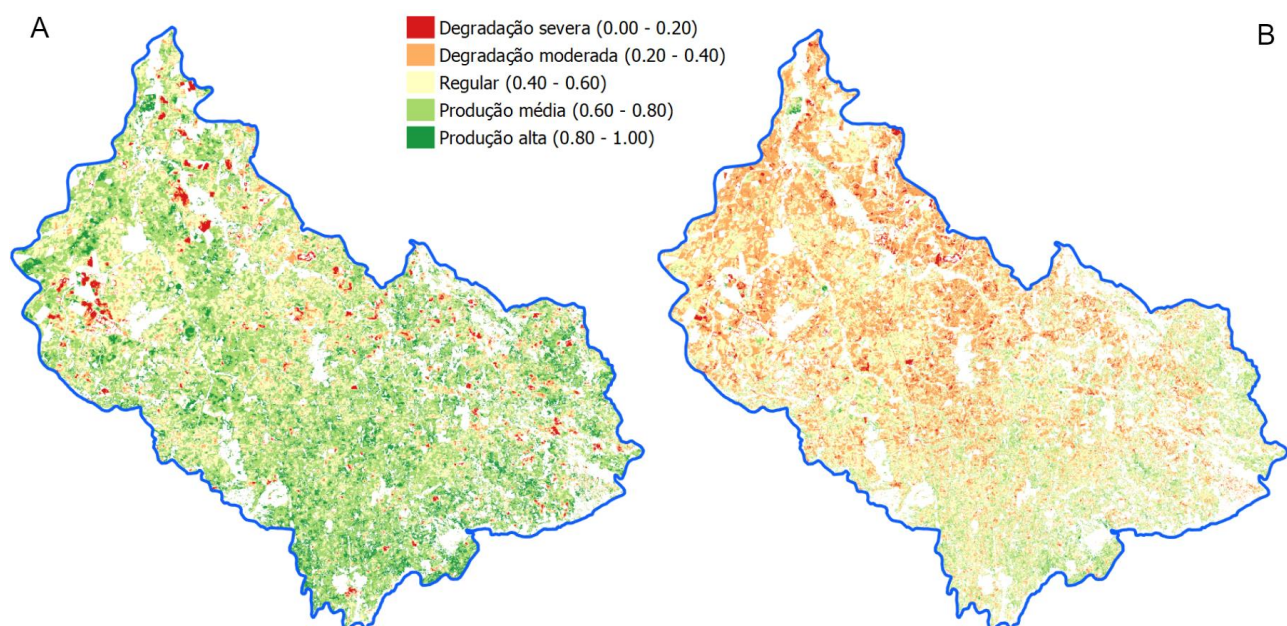


Figura 6: Qualidade das pastagens na Bacia Hidrográfica Rio Vermelho (BHRV), considerando dados normalizados para as áreas de pastagens da BHRV (a), e para as áreas de pastagens do estado de Goiás (b). Evidenciando que a estratégia de normalização dos dados tem um papel significativo no mapa final de qualidade das pastagens em escala local e regional, sendo que quanto menor a área em que os dados foram normalizados, maior o nível de detalhes percebidos localmente.

Considerando a qualidade média por propriedade de terras privadas (CAR), foi observado que 40.4% das propriedades apresentam algum nível de degradação (*severa* ou *moderada*), enquanto que menos de 1% apresentam *Produção alta* (Figura 7). Os percentuais de propriedades de terras privadas por classe de qualidade das pastagens foram: 9.7% classificadas como em estágio de *Degradação severa*, 30.7% em estágio de *Degradação moderada*, 45.9% em estágio de *Produção regular*, 12.9% em estágio de *Produção média* 0.8% e *Produção alta* (Figura 7).

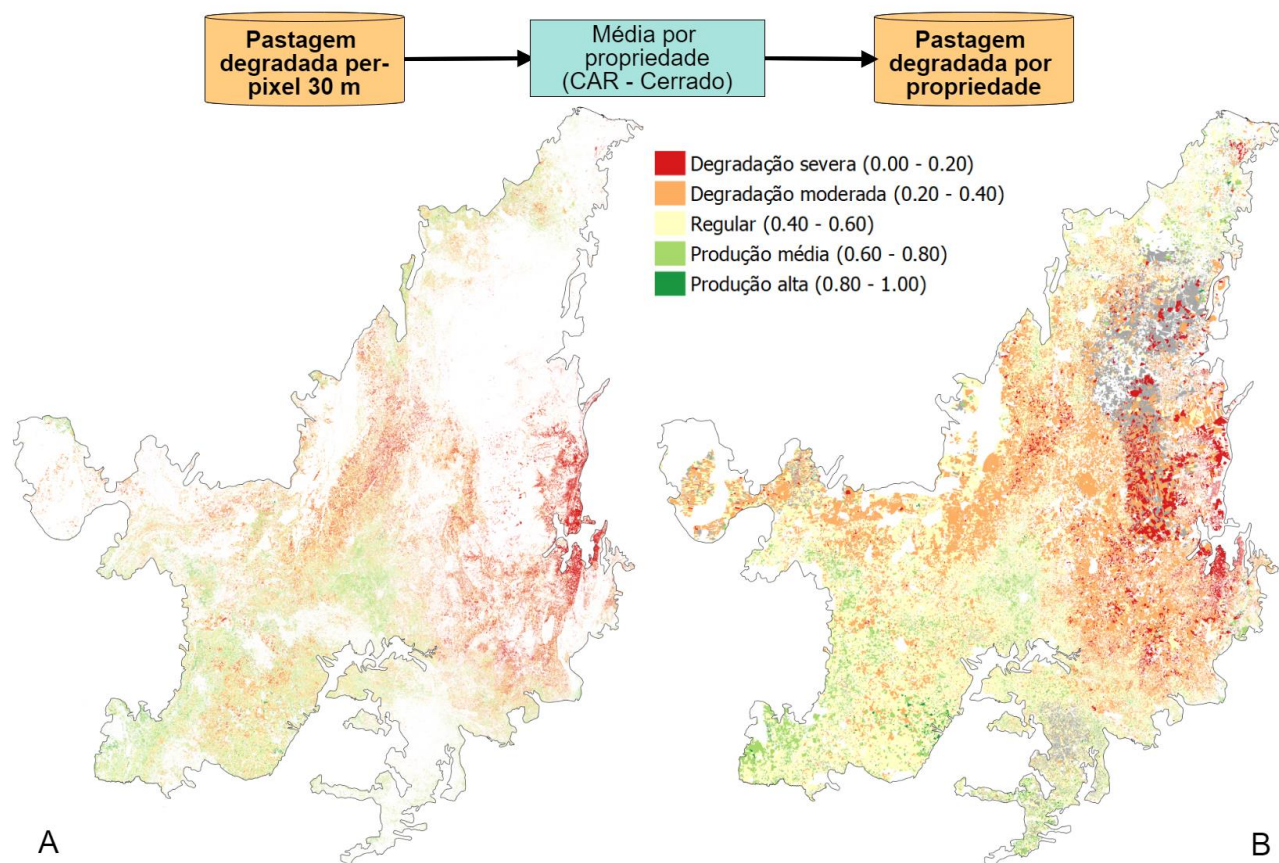


Figura 7: Classificação das propriedades de terras privadas do bioma Cerrado (CAR) de acordo com a qualidade média de suas pastagens. (a) Qualidade da pastagem a nível de pixel (30m) e (b) e qualidade média das pastagens a nível de propriedade.

O volume de dados obtidos por meio desta análise somam um conjunto de aproximadamente 20 bilhões de pixels, que além dos resultados preliminares apresentados, estão sendo processados e avaliados para melhor compreender como os padrões de variações espaciais e temporais na qualidade das pastagens se relaciona com a idade de conversão das áreas cultivadas e a produtividade bovina, nos municípios e terras privadas do bioma cerrado.

4. Considerações finais

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. Possibilitando mapear a qualidade das pastagens no Cerrado em classes bem definidas, combinando a tendência histórica e o vigor vegetativo atual.

Os resultados preliminares estão de acordo com o observado na literatura, em termos de percentual de pastagens degradadas, e tem como principal diferencial, ser um método de análise que possibilita mapear a qualidade das pastagens de forma espacialmente explícita, e que por ser móvel no tempo, permite o monitoramento e construção de séries históricas de mapas, o que é de

fundamental importância para avaliar os padrões de degradação e necessidades de adequações de manejos nas áreas de pastagens.

A normalização dos dados produz resultados mais detalhados da qualidade das pastagens na região normalizada, possibilitando distinguir as áreas pastagens mais e menos produtivas de modo mais eficaz. Entretanto, para se obter resultados mais eficazes, o método e classes propostos carecem de validação com informações de campo (esse processo de validação está em andamento).

Como próximos passos da pesquisa relacionada ao presente trabalho (para a versão final do trabalho), pretende-se utilizar dados de campo para validar as classes de qualidade das pastagens, a eficácia do processo de normalização e a janela de período de baseline e período de interesse. Pretende-se também, gerar uma série histórica de qualidade das pastagens, para o período de abrangência dos dados MODIS (MOD13Q1), e avaliar a relação entre os padrões de variação na qualidade das pastagens, a idade das pastagens e a produção bovina de carne e leite.

5. Agradecimentos

Este trabalho, situado no âmbito da iniciativa MapBiomass (<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).

6. Referências bibliográficas

- Aguiar, D., Mello, M., Nogueira, S., Gonçalves, F., Adami, M., Rudorff, B., 2017. MODIS Time Series to Detect Anthropogenic Interventions and Degradation Processes in Tropical Pasture. *Remote Sens.* 9, 73. <https://doi.org/10.3390/rs9010073>
- Arantes, A.E., 2017. Caracterização Biofísica e Potencial à Intensificação Sustentável da Pecuária Brasileira em Pastagens.
- Bayma, A.P., Sano, E.E., 2015. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor modis para detecção de desmatamentos no bioma cerrado. *Bol. Ciencias Geod.* 21, 797–893. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702015000400047>
- Costa, M.H., Yanagi, S.N.M., Souza, P.J.O.P., Ribeiro, A., Rocha, E.J.P., 2007. Climate change in Amazonia caused by soybean cropland expansion, as compared to caused by pastureland expansion. *Geophys. Res. Lett.* 34, L07706. <https://doi.org/10.1029/2007GL029271>

- Crist, E., Mora, C., Engelman, R., 2017. The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Science* (80-.). 356, 260–264. <https://doi.org/10.1126/science.aal2011>
- Dias-Filho, M., 2015. Degradação de Pastagens: Processos, Causas e Estratégias de Recuperação 215.
- Gao, Q., Li, Y., Wan, Y., Lin, E., Xiong, W., Jiangcun, W., Wang, B., Li, W., 2006. Grassland degradation in Northern Tibet based on remote sensing data. *J. Geogr. Sci.* 16, 165–173. <https://doi.org/10.1007/s11442-006-0204-1>
- Lahsen, M., Bustamante, M.M.C., Dalla-Nora, E.L., 2016. Undervaluing and Overexploiting the Brazilian Cerrado at Our Peril. *Environ. Sci. Policy Sustain. Dev.* 58, 4–15. <https://doi.org/10.1080/00139157.2016.1229537>
- Parente, L., Ferreira, L., 2018. Assessing the spatial and occupation dynamics of the Brazilian pasturelands based on the automated classification of MODIS images from 2000 to 2016. *Remote Sens.* 10, 606. <https://doi.org/10.3390/rs10040606>
- Silva, F.A.M., Assad, E.D., Evangelista, B.A., 2008. Caracterização climática do Bioma Cerrado, Cerrado: ecologia e flora.
- Spera, S., 2017. Agricultural Intensification Can Preserve the Brazilian Cerrado: Applying Lessons From Mato Grosso and Goiás to Brazil's Last Agricultural Frontier. *Trop. Conserv. Sci.* 10, 194008291772066. <https://doi.org/10.1177/1940082917720662>
- Spera, S.A., Galford, G.L., Coe, M.T., Macedo, M.N., Mustard, J.F., 2016. Land-use change affects water recycling in Brazil's last agricultural frontier. *Glob. Chang. Biol.* 22, 3405–3413. <https://doi.org/10.1111/gcb.13298>
- Wolfe, R.E., Nishihama, M., Fleig, A.J., Kuyper, J.A., Roy, D.P., Storey, J.C., Patt, F.S., 2002. Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science. *Remote Sens. Environ.* 83, 31–49. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00085-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00085-8)