



**AVALIAÇÃO E MAPEAMENTO DE PASTAGENS COM
DIFERENTES NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO A PARTIR DE
CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS SENTINEL-2, POR
MEIO DO ALGORITMO RANDOM FOREST: ESTUDO DE CASO
DE VALENÇA/RJ E ARREDORES**

**EVALUATION AND MAPPING OF PASTURES WITH DIFFERENT
LEVELS OF DEGRADATION FROM DIGITAL CLASSIFICATION
OF SENTINEL-2 IMAGES, USING THE RANDOM FOREST
ALGORITHM: CASE STUDY OF VALENÇA/RJ AND
SURROUNDINGS**

**EVALUACIÓN Y CARTOGRAFÍA DE PASTIZALES CON
DIFERENTES NIVELES DE DEGRADACIÓN A PARTIR DE LA
CLASIFICACIÓN DIGITAL DE IMÁGENES CENTINELA-2,
UTILIZANDO EL ALGORITMO RANDOM FOREST: ESTUDIO DE
CASO DE VALENÇA/RJ Y ALREDEDORES**

Mateus Benchimol Ferreira de Almeida¹
Margareth Simões²
Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz³
Patrick Calvano Kuchler⁴

DOI: 10.54751/revistafoco.v16n6-004

Recebido em: 26 de Abril de 2023

Aceito em: 01 de Junho de 2023



RESUMO

O presente trabalho objetivou desenvolver uma metodologia de avaliação e mapeamento de pastagens com diferentes níveis de degradação, com base em técnicas de Sensoriamento Remoto. Utilizou-se imagens Sentinel-2, índices de vegetação, texturas GLCM e amostras de campo (peso e altura da biomassa das pastagens). O processamento das imagens digitais foi realizado no R e no Google Earth Engine usando o algoritmo random forest. No R, obteve-se informações sobre as imagens mais importantes; e no Google Earth Engine, realizou-se o processamento da série temporal

¹ Doutor em Ciências Ambientais, Sensoriamento Remoto. Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rua São Francisco Xavier, 524, Pavilhão João Lyra Filho, 12º andar, sala 12005, Bloco F, Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 20550-900. E-mail: mateusbenchimol@hotmail.com.

² Doutora em Geografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, RJ, CEP: 22460-000. E-mail: margareth.simoese@embrapa.br

³ Doutor em Ciências Ambientais. Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 22460-000. E-mail: rodrigo.demonte@embrapa.br

⁴ Doutor em Ciências Ambientais, Sensoriamento Remoto pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Embrapa Solos. Rua Jardim Botânico, 1024, Jardim Botânico, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 22460-000. E-mail: geocalvano@gmail.com

principal. O índice de vegetação NCI foi a imagem mais importante, apresentando correlação de $R^2 = 0,722$ com o peso da biomassa. Os resultados revelaram que na área de estudo tem-se: N1 (52.72%), N2N3 (32.56%) e N4 (14.72%). As acurácias alcançadas foram as seguintes: Acurácia Global = 0,93; Kappa = 0,89; e F-score (N1 = 0,97, N2N3 = 0,93, N4 = 0,88).

Palavras-chave: Índices de vegetação; Normalized Canopy Index (NCI); texturas GLCM; séries temporais; aprendizado de máquina.

ABSTRACT

This study aimed to develop a methodology for evaluating and mapping pastures with different degradation levels based on Remote Sensing techniques. Sentinel-2 images, vegetation indices, GLCM textures, field samples (weight and height of pasture biomass) were used. The processing of digital images was performed in R and Google Earth Engine using the random forest algorithm. In R, information was obtained about the most important images; and in Google Earth Engine, the main time series was processed. NCI was the most important image, showing a correlation of $R^2 = 0.722$ with the biomass weight. The results revealed that in the study area there are: L1 (52.72%), L2L3 (32.56%) and L4 (14.72%). The accuracies achieved were as follows: Global Accuracy = 0.93; Kappa = 0.89; and F-score (L1 = 0.97, L2L3 = 0.93, L4 = 0.88).

Keywords: Vegetation indices; Normalized Canopy Index (NCI); GLCM texture; time series; machine learning.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo desarrollar una metodología para la evaluación y cartografía de pastizales con diferentes niveles de degradación, basada en técnicas de Teledetección. Se utilizaron imágenes Sentinel-2, índices de vegetación, texturas GLCM y muestras de campo (peso y altura de biomasa de pastos). El procesamiento de las imágenes digitales se realizó en R y Google Earth Engine utilizando el algoritmo random forest. En R se obtuvo información sobre las imágenes más importantes y en Google Earth Engine se realizó el procesamiento de las principales series temporales. El índice de vegetación NCI fue la imagen más importante, presentando una correlación de $R^2 = 0,722$ con el peso de la biomasa. Los resultados revelaron que en el área de estudio se tiene: N1 (52,72%), N2N3 (32,56%) y N4 (14,72%). Las precisiones alcanzadas fueron las siguientes: Precisión global = 0,93; Kappa = 0,89; y F-score (N1 = 0,97, N2N3 = 0,93, N4 = 0,88).

Palabras clave: Índices de vegetación; Índice de dosel normalizado (NCI); texturas GLCM; series temporales; aprendizaje automático.

1. Introdução

A degradação das pastagens tem sido uma grande preocupação da pecuária nacional, visto que impacta diretamente na produtividade do setor diante da crescente demanda por alimentos a nível global. Estima-se que a população global será de cerca de 8,5 bilhões de pessoas em 2030, 9,7 bilhões

em 2050 e 10,9 bilhões em 2100 [1]. Segundo a FAO, a demanda mundial por alimentos de origem animal aumentará nos próximos anos, devido ao crescimento populacional e ao aumento do consumo per capita [2, 3]. No Brasil, o pastejo é a principal fonte de nutrição do gado [4], portanto a qualidade das pastagens tem papel fundamental no aumento da produtividade de carne. A pecuária contribui nas emissões de gases de efeito estufa como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) [2]. Segundo o IPCC, as atividades humanas têm tido um impacto sem precedentes nas emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global [5].

O Brasil possui uma área de cerca de 150 milhões de hectares de pastagens [6], correspondendo a aproximadamente 21% do território nacional [7]. Estima-se que cerca de 60% das pastagens no Brasil estão degradadas [8].

Assim, saber onde estão localizadas as pastagens degradadas e em que grau de degradação se encontram, é de grande importância para o planejamento setorial, pois será uma ferramenta essencial para os tomadores de decisão, permitindo a execução de projetos de recuperação de pastagens, identificando áreas prioritárias para a intervenção. Desta forma, o Sensoriamento Remoto apresenta-se como uma ferramenta adequada para esta tarefa, uma vez que algoritmos de processamento digital de imagens mais eficientes e sensores cada vez mais potentes têm revolucionado esta área do conhecimento científico. Esta pesquisa faz parte de dois projetos. O projeto ReinserTec (Tecnologias Avançadas para a Avaliação e Reinserção de Áreas Degradadas às Cadeias de Produção Agropecuárias) e o projeto GeoABC (Metodologias e Inovações Tecnológicas e o Planejamento da Agricultura de Baixa Emissão de Carbono em Apoio à Governança do Plano ABC), que trata do Plano ABC (Plano Setorial de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas Visando à Consolidação de uma Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura), e visa avaliar métodos e técnicas inovadoras na área de Sensoriamento Remoto e integração de dados espaciais para a orientação de sistemas de produção agrícola alinhados à agricultura de baixa emissão de carbono [9, 10].

2. Material e Métodos

A área de estudo compreende os municípios de Valença, Vassouras, Rio das Flores, Barra do Piraí e Paty dos Alferes e corresponde a 1.089,9 km². É uma região de ocorrência de pastagens no Vale do Rio Paraíba do Sul, no estado do Rio de Janeiro (RJ), conforme a Figura 1. Nesta área existe a fazenda Santa Mônica (Fazenda Experimental da Embrapa) localizada no distrito Barão de Juparanã, no município de Valença (RJ), na qual um experimento de campo já está montado para calibrar as pastagens in situ.

As pastagens, in situ, foram classificadas em N1, N2, N3 e N4 (Figura 2), de acordo aos parâmetros definidos por [4], conforme a Tabela 1. In situ, observou-se que as pastagens estavam sob pastejo. In situ, coletou-se 20 amostras de biomassa das pastagens e as alturas correspondentes. Em laboratório, pesou-se a biomassa e separou-se o material morto. Também foram reconhecidos e coletados vários outros pontos por GPS, como se apresenta na Tabela 2.

No R, para um período de 3 meses (janeiro, fevereiro e março), com base em imagens Sentinel-2 corrigidas atmosféricamente calculou-se diversos índices de vegetação (CAI, CRI1, CRI2, DFI, EVI, EVI2, Vlgreen, MSAVI, NCI, NDI5, NDI7, NDWI, NDSVI, NDTI, NDVI, REP, RGR, SR, SATVI, SAVI, STI, TVI, 3 componentes da Tasseled Cap [brilho, verdor e umidade]) e Textura8 GLCM (8 texturas principais), totalizando 315 camadas (layers). A classificação supervisionada random forest permitiu identificar as camadas mais importantes do processo de degradação de pastagens por meio de uma função (varImp). Deste modo, foi possível identificar que o índice de vegetação mais importante no processo de degradação de pastagens é o NCI (Normalized Canopy Index). Assim, correlacionou-se este índice com o peso da biomassa, a altura da biomassa e o peso do material morto. Alcançou-se correlação forte em 2 dos 3 casos, conforme a Figura 3.

No Google Earth Engine, as camadas (layers) usadas foram as seguintes: B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B8A, B11, B12, NCI, CRI2, STI, CAI, NDTI, NDVI, Vlgreen, CRI1, RGR, NDI7, REP, TVI, Transformação de Kauth-Thomas

“Tasseled Cap” (brilho, verdor e umidade) e Textura18 GLCM (18 texturas GLCM), com séries temporais de 1 mês, 3 meses, 6 meses, 9 meses e 1 ano, conforme Tabela 3.

Figura. 1. Mapa de localização da área de estudo.

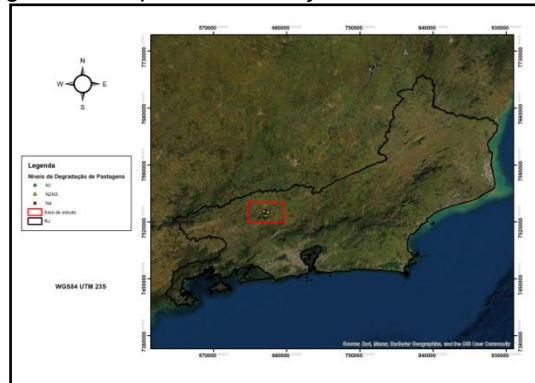


Tabela 1. Estádios de degradação (ED) de pastagens segundo parâmetros limitantes, indicadores de queda na capacidade de suporte (QCS), e nível de degradação (nível).

ED	Parâmetro limitante	QCS (%)	Nível
1	Vigor e solo descoberto	Até 20	Leve
2	Estádio 1 agravado + plantas invasoras	21 - 50	Moderado
3	Estádio 2 agravado ou morte das forrageiras (degradação agrícola)	51 - 80	Forte
4	Solo descoberto + erosão (degradação biológica)	> 80	Muito forte

Fonte: [4].

Tabela 2. Informação das amostras de campo.

Nível de Degradação	Nº de amostras de campo	Total	Data de aquisição
N1	65	277	fev/2019: 11 a 14
N2N3	124		fev/2019: 19 a 21
N4	90		

Figura. 2. Níveis de degradação de pastagens: N1, N2, N3 e N4.



Figura. 3. Correlação entre o índice de vegetação mais importante (NCI) e as características biofísicas das pastagens (biomassa, altura e material morto).

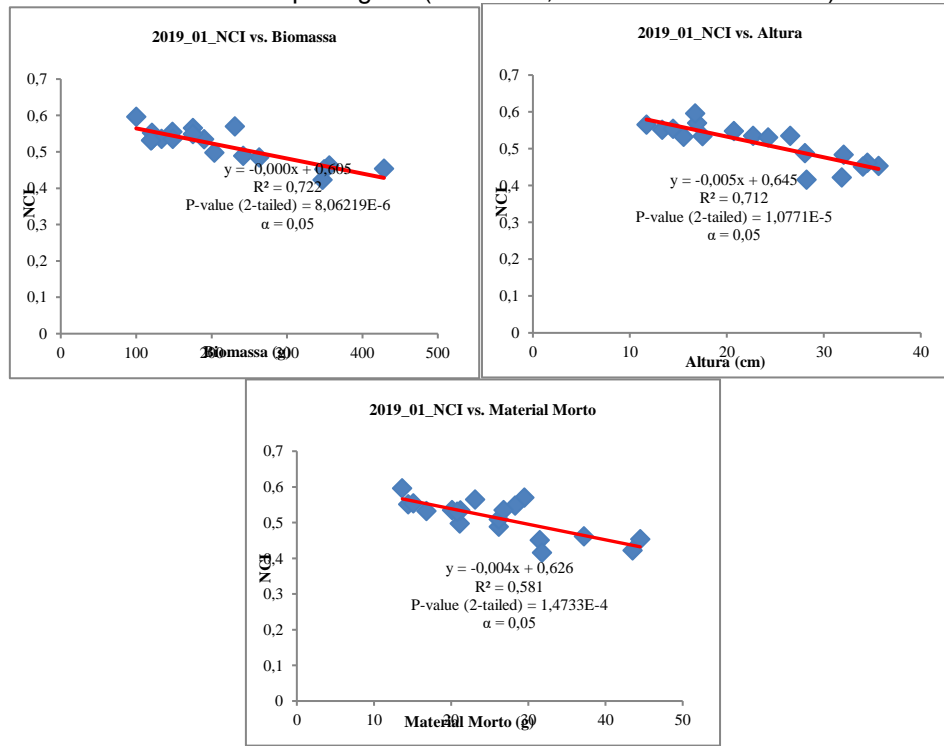
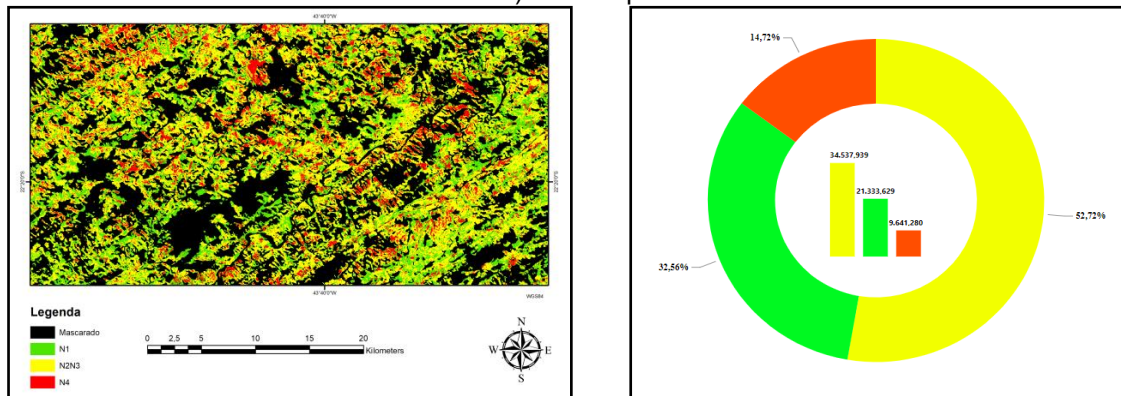


Tabela 3. Controle da acurácia da classificação random forest com base em (S2 + IV + Textura18).

Série temporal	Nível de Degradação	Acurácia do Produtor	Acurácia do Usuário	F-score	Acurácia Global	Kappa
1 mês (Jan)	L1	0.91	0.91	0.91	0.81	0.71
	L2L3	0.84	0.80	0.82		
	L4	0.70	0.76	0.73		
3 meses (Jan – Mar) OBS.: Apenas na estação úmida.	L1	0.91	0.91	0.91	0.87	0.80
	L2L3	0.89	0.87	0.88		
	L4	0.81	0.84	0.83		
6 meses (Jan – Jun)	L1	0.95	0.91	0.93	0.87	0.80
	L2L3	0.89	0.87	0.88		
	L4	0.77	0.84	0.80		
9 meses (Jan – Set)	L1	0.95	0.91	0.93	0.87	0.80
	L2L3	0.92	0.85	0.88		
	L4	0.74	0.86	0.79		
1 ano (Jan – Dez) OBS.: Os melhores resultados.	L1	1	0.95	0.97	0.93	0.89
	L2L3	0.97	0.90	0.93		
	L4	0.81	0.95	0.88		
3 meses (Out – Dez)	L1	0.86	0.86	0.86	0.85	0.77
	L2L3	0.92	0.81	0.86		
	L4	0.74	0.90	0.81		

OBS.: Apenas na estação úmida.						
3 meses (Jun – Ago) OBS.: Apenas na estação seca.	L1	1	0.92	0.95	0.95	0.93
	L2L3	0.97	0.94	0.96		
	L4	0.88	1	0.94		

Figura. 4. Mapa dos níveis de degradação de pastagens da área de estudo baseado em (S2 + IV + Textura18) e as respectivas áreas.



3. Resultados e Discussões

Existem dois grupos de resultados nesta pesquisa, i.e, os resultados obtidos no R (processamento auxiliar) e os resultados obtidos no Google Earth Engine (processamento principal). Houve necessidade de realizar um processamento auxiliar de imagens Sentinel-2 no R, devido a disponibilidade de ferramentas estatísticas bastante úteis que permitem um melhor entendimento do fenômeno de degradação de pastagens, bem como uma melhor extração dos resultados.

3.1 Processamento Digital Imagens no R e no Google Earth Engine

No R, a classificação supervisionada random forest forneceu bons resultados de Acurácia Geral (AG = 0.92) e índice Kappa (K = 0.87). Na correlação NCI vs. Biomassa (peso da biomassa) alcançou-se um Coeficiente de Determinação $R^2 = 0.722$. Na correlação NCI vs. Altura alcançou-se um Coeficiente de Determinação $R^2 = 0.712$. E na correlação NCI vs. Material Morto alcançou-se um Coeficiente de Determinação $R^2 = 0.581$ (não muito bom), conforme Figura 3. O que indica que o NCI é um proxy da biomassa, refletindo desta forma o processo de degradação de pastagens, pois de todos os índices

testados, o NCI foi o que apresentou maior sensibilidade ao fenômeno em análise.

Na Tabela 3, para se controlar a qualidade da separabilidade dos níveis de degradação das pastagens, apresenta-se as acurácias da classificação supervisionada random forest (Acurácia Global, Kappa e F-score) usando bandas puras Sentinel-2, Índices de Vegetação e Texturas GLCM (S2 + IV + Textura18).

A classificação supervisionada random forest no Google Earth Engine apresentou as seguintes acurácias (AG = 0.93; K = 0.89; F-score [N1 = 0.97; N2N3 = 0.93; N4 = 0.88]), com as respectivas áreas (N1 = 21.333,629ha, N2N3 = 34.537,939ha and N4 = 9.641,280ha), conforme Figura 4.

4. Conclusões

Para as condições estudadas relativamente aos níveis de degradação das pastagens chegou-se as seguintes conclusões:

O NCI foi o índice de vegetação mais importante na separabilidade dos níveis de degradação de pastagens N1, N2N3 e N4, mas isoladamente não foi capaz de garantir uma separabilidade satisfatória, alcançando apenas as acurácias AG = 0.61 e K= 0.39. Então, foi necessário adicionar outros índices de vegetação e texturas para se obter melhores resultados.

Na correlação entre os índices de vegetação e as características biofísicas das pastagens, a biomassa (peso da biomassa = peso da biomassa verde + peso da biomassa seca) foi a característica biofísica das pastagens mais importante, tendo a melhor correlação com o NCI ($R^2 = 0.722$). No entanto, a altura das pastagens também teve uma forte correlação com o NCI ($R^2 = 0.712$). Apenas o peso do material morto teve uma correlação fraca com o NCI ($R^2 = 0.581$).

Observou-se que algoritmos de aprendizado de máquina, como o random forest, aprendem melhor quanto maior for a quantidade de informações. Por isso, nas metodologias propostas, séries temporais de 1 ano mostraram-se mais eficientes do que apenas 3 meses de imagens de satélites na separabilidade dos

níveis de degradação das pastagens.

Por fim, a metodologia proposta (S2 + IV + Textura18) se mostrou ser robusta, eficiente e eficaz para o objetivo proposto de separabilidade dos níveis de degradação de pastagens por meio de técnicas de Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens, obtendo-se acurácia satisfatória (AG = 0.93 e K = 0.89).

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer o apoio financeiro do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA); o apoio científico da EMBRAPA Solos, bem como o apoio acadêmico do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente (PPGMA), Doutorado Interdisciplinar, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Os autores agradecem também o apoio financeiro do projeto “Módulo IS_Agro - Embrapa Solos - 21201.002037/2021-19”. O primeiro autor agradece ao Instituto Nacional de Gestão de Bolsas de Estudo de Angola (INAGBE) por concessão de bolsa de estudos. Os autores agradecem o apoio do projeto “Reinsertec” da Embrapa Solos. Os autores agradecem o apoio do projeto “GeoABC: Metodologias e Inovações Tecnológicas para o Monitoramento e o Planejamento da Agricultura de Baixa Emissão de Carbono em Apoio à Governança do Plano ABC”. Os autores também gostariam de agradecer aos Pesquisadores da Embrapa Solos, Dr. Guilherme Donagemma e Dr. Fabiano Balieiro, pela colaboração nos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

- [1] ONU. World population prospects 2019. 2019.
- [2] FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). The State of Food and Agriculture: Livestock in the Balance. 2009.
- [3] FAO. The State of Food Security and Nutrition in the World Security: Transforming Food Systems for Food Security, Improved Nutrition and Affordable Healthy Diets for All. 2021.
- [4] M. B. Dias-Filho. Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias

de recuperação. 4 ed. Embrapa Amazônia Oriental. 2015.

[5] IPCC. Assessment Report 6 Climate Change 2021: The Physical Science Basis. 2021

[6] MapBiomass. Projeto MapBiomass – Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. 2021.

[7] L. Parente, L. Ferreira. Assessing the spatial and occupation dynamics of the Brazilian pasturelands based on the automated classification of MODIS images from 2000 to 2016. Remote Sensing. v. 10, nº 4: pp. 606, 2018.

[8] LAPIG. Atlas Digital das Pastagens Brasileiras. 2018.

[9] EMBRAPA. GeoABC: Metodologias e inovações tecnológicas para o monitoramento e o planejamento da agricultura de baixa emissão de carbono em apoio à governança do Plano ABC. 2015.

[10] Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Plano Setorial de Mitigação e Adaptação às Mudanças Climáticas para Consolidação da Economia de Baixa Emissão de Carbono na Agricultura – Plano ABC. 2012.