

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ÍNDICES DE REFLECTÂNCIA, NDVI E EVI COMO  
INDICADORES DE NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO DAS  
PASTAGENS TROPICAIS**

**Andréa de Oliveira Passos**

Tecnóloga em Gestão Ambiental

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**ÍNDICES DE REFLECTÂNCIA, NDVI E EVI COMO  
INDICADORES DE NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO DAS  
PASTAGENS TROPICAIS**

**Andréa de Oliveira Passos**

**Orientadora: Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra**

**Coorientador: Prof. Dr. Fernando Antonio Leal Pacheco**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia - Ciência do Solo.

P289i

Passos, Andrea de Oliveira

Índices de reflectância, ndvi e evi como indicadores de níveis de degradação das pastagens tropicais / Andrea de Oliveira  
Passos. -- Jaboticabal, 2021

52 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Coorientador: Fernando Antonio Leal Pacheco

1. Sistema de informação. 2. Sensor remoto. 3. Produção  
Animal. 4. Solo. 5. Geomática. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo  
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA TESE: ÍNDICES DE REFLECTÂNCIA, NDVI E EVI COMO INDICADORES DE NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS TROPICAIS**

**AUTORA: ANDREA DE OLIVEIRA PASSOS**

**ORIENTADORA: TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA**

**COORIENTADOR: FERNANDO ANTÔNIO LEAL PACHECO**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

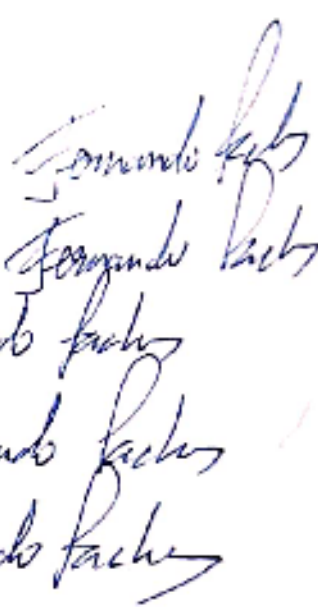
Prof. Dr. FERNANDO ANTÔNIO LEAL PACHECO (Participação Virtual)  
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro-UTAD / Vila Real/Portugal

Pesquisadora Dra. FLÁVIA FERNANDA SIMILI (Participação Virtual)  
Secretária de Agricultura e Abastecimento / Instituto de Zootecnia (IZ) - Ribeirão Preto/SP

Prof. Dr. RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR (Participação Virtual)  
Instituto Federal do Triângulo Mineiro - IFTM / Uberaba/MG

Prof. Dr. LUÍS FILIPE SANCHES FERNANDES (Participação Virtual)  
Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro-UTAD / Vila Real/Portugal

Profa. Dra. RENATA CRISTINA ARAUJO COSTA (Participação Virtual)  
Universidade Guarulhos - UNG / Guarulhos/SP



Jaboticabal, 26 de maio de 2021

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**ANDRÉA DE OLIVEIRA PASSOS** - Filha de Ricardo Coimbra Passos e Saionara Saldanha de Oliveira. Nasceu em Brasília – DF em 12 de novembro de 1969. Graduou-se em Tecnologia em Gestão Ambiental no Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro- Câmpus Uberaba em 2009. Fez especialização em Gestão Ambiental - Diagnóstico e Adequação Ambiental no IFTM - Câmpus Uberaba em 2012. Durante a graduação, atuou como bolsista em projetos de iniciação científica e de extensão, em estudos relacionados ao sensoriamento remoto, uso e ocupação do solo, qualidade de água e determinação do potencial de uso do solo em bacias hidrográficas. Bolsista CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - 2015/2016. Mestre em Agronomia, Ciência do Solo na Universidade Estadual paulista – UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, em 2017.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus filhos André Luiz e Leonardo Gabriel por sempre acreditarem que sou capaz e me apoiarem nas minhas decisões.

Às minhas avós Georgina e Maria, muito amor e saudades.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP - Câmpus de Jaboticabal, pelo apoio e infraestrutura necessária para a realização deste curso.

À Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra, pela amizade, orientação e por acreditar no desenvolvimento deste trabalho, estando sempre à disposição e contribuindo com a sua experiência e ensinamento.

Ao Prof. Dr. Fernando Antonio Leal Pacheco na coorientação deste projeto.

A todos os professores pelo aprendizado e pela troca de conhecimento ao longo desta etapa e ao Grupo de Pesquisa em Política de Uso do Solo – PolUS.

À Banca Examinadora pelas contribuições.

Aos companheiros de estrada e do dia-a-dia. Neste período estivemos juntos e dividimos boa parte dos ensinamentos junto às disciplinas cursadas.

Aos amigos e colegas que ao longo desta passagem, contribuíram com muitas gargalhadas e companheirismo no Laboratório de Geomática: Renata, Rafael, Gislaine, Márcia e Laís. Espero que continuemos assim, com uma amizade sincera e duradoura.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho e de minha formação pessoal e profissional. Um muitíssimo obrigado.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	16
2.1 Pastagem .....	16
2.2 Degradação de pastagem .....	17
2.3 Monitoramento das áreas de pastagem utilizando técnicas de sensoriamento remoto .....	21
2.3.1 NDVI .....	23
2.3.2 EVI .....	26
3 OBJETIVOS .....	29
3.1 Objetivo geral .....	29
3.2 Hipótese .....	29
4 MATERIAL E MÉTODOS .....	30
4.1 Caracterização da área de estudo .....	30
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	36
6 CONCLUSÃO .....	45
7 REFERÊNCIAS .....	46

## ÍNDICES DE REFLECTÂNCIA, NDVI E EVI COMO INDICADORES DE NÍVEIS DE DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS TROPICAIS

**RESUMO** – A recuperação das áreas de pastagem improdutivas no Brasil é um imenso potencial para o aumento de produtividade da pecuária nacional e necessitamos de ferramentas práticas de diagnóstico no intuito de mensurar os níveis de degradação no intuito de recuperar a fertilidade do solo e obter renda em curto prazo. O sensoriamento remoto é considerado uma tecnologia da pecuária de precisão utilizada para auxiliar na análise do cenário do nível de degradação das pastagens tropicais em áreas de produção animal. A identificação dessas áreas é de extrema importância para orientar os produtores a adotarem técnicas de manejo de pastagem adequada, que proporcionem maior produtividade animal e minimização dos impactos ambientais. O objetivo deste estudo foi analisar os índices de vegetação NDVI e EVI, via sensoriamento remoto para identificar os níveis de degradação das pastagens tropicais. As amostras foram coletadas em imagens de satélite multitemporais do sensor MODIS no programa informatizado SATVeg em cinco tratamentos, representando áreas de mata nativa (tratamento referencial - MN) e quatro fisionomias de pastagem: pastagem saudável (PS), pastagem com invasoras (PI), pastagem com invasoras e cupim (PIC), pastagem com solo exposto (PSE). As avaliações das imagens foram realizadas no período de 18 anos, sendo consideradas 23 imagens para cada ano. Os dados foram submetidos a análises estatísticas e comparados em testes de médias. As bandas espectrais foram utilizadas como preditores de fisionomias das áreas das pastagens e da mata nativa. Os índices de vegetação NDVI e EVI foram estatisticamente significativos na diferenciação entre as áreas amostradas e são eficientes para determinar a diferença espacial e temporal na identificação das áreas mais críticas de degradação das pastagens, as quais têm mais urgência de serem recuperadas.

**Palavras-chave:** 1. Sistema de informação. 2. Sensor remoto. 3. Pastagem degradada. 4. Solo. 5. MODIS.

## REFLECTANCE INDICES, NDVI AND EVI AS INDICATORS OF TROPICAL PASTURE DEGRADATION LEVELS

**ABSTRACT** – The recovery of unproductive pasture areas in Brazil is a huge potential for increasing the productivity of national livestock and the practical diagnostic tools are necessary in order to measure levels of degradation to recover soil fertility and earn income in the short term. Remote sensing is considered a precision livestock technology used to assist in the scenario analysis of the level of degradation of tropical pastures in animal production areas. The identification of these areas is extremely important to guide producers to adopt adequate pasture management techniques, which provide greater animal productivity and minimize environmental impacts. The aim of this study was to analyze the NDVI and EVI vegetation indices, via remote sensing, to identify levels of degradation in tropical pastures. The samples were collected in multitemporal satellite images of the MODIS sensor in the computerized program SATVeg in five treatments, representing areas of native forest (reference treatment - MN) and four pasture physiognomies: healthy pasture (PS), pasture with weeds (PI), pasture with weeds and termites (PIC), pasture with exposed soil (PSE). Image evaluations were carried out over a period of 18 years, with 23 images being considered for each year. Data were subjected to statistical analysis and compared using tests of means. Spectral bands were used as predictors of physiognomies of pasture and native forest areas. The NDVI and EVI vegetation indices were statistically significant in differentiating between the sampled areas and are efficient in determining the spatial and temporal difference in identifying the most critical areas of pasture degradation, which are more urgent to be recovered.

**Keywords:** 1. Information system. 2. Remote sensor. 3. Degraded pasture. 4. Soil. 5. MODIS.

## 1 INTRODUÇÃO

As áreas de pastagem apresentam significativa importância para o desenvolvimento da agropecuária mundial. A principal função destas áreas é como sistema de suporte primário para a produção animal na oferta de alimentos e produtos derivados. Com a eficiência do sistema da agropecuária, o Brasil apresenta bons resultados na economia com alta de 5,1% no faturamento (MAPA, 2021). De acordo com o IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2019), na Pesquisa da Pecuária Municipal, o Brasil conta com um rebanho bovino de 214,7 milhões de cabeças.

O sistema de exportação de carne para os países mundiais cresce a cada dia e conseqüentemente o setor produtivo será cobrado por aumentar a produção e ao mesmo tempo não prejudicar o meio ambiente. Sendo assim, o manejo adequado da pastagem nas áreas tropicais desempenhará um papel importante no plano geral de práticas na condução do sistema de produção animal que tem como meta a recuperação de pastagem degradadas e a conservação dos recursos naturais.

A pastagem tem função importante na conservação do solo desde que manejada de forma adequada, o que proporciona o equilíbrio dos nutrientes que saem e entram no sistema produtivo, resultando na disponibilidade de uma forragem de qualidade, gerando mais produtividade ao setor. Se o manejo for mal realizado, os estados de degradação das pastagens chegam a níveis que deterioram o meio, expondo áreas desprovidas de vegetação onde não ocorre o armazenamento de carbono no solo com a diminuição da qualidade do solo e da água.

Uma área de pastagem degradada está em um processo evolutivo da perda de produtividade. A cobertura vegetal se torna incapaz de recuperação natural para sustentar os níveis de produção e qualidade exigida pelos animais. Entretanto, denota-se que o estado de degradação é peculiar e pode ser identificado como um distúrbio fisiológico da espécie dominante de pasto, por invasão de novas espécies vegetais indesejadas na área e pelo aumento da extensão de áreas com solo exposto, condições que comprometem a estabilidade do solo e aumentam o estado de erosão.

O estabelecimento de critérios e métricas para a avaliação do estágio de degradação das pastagens cultivadas é complexo, considerando-se a grande diversidade das características morfofisiológicas das plantas forrageiras e dos ecossistemas em que são cultivadas (Nascimento Júnior et al., 1994). Além disso, o estado de degradação de pastagens pode estar relacionado aos aspectos relativos à região e/ou ao nível tecnológico da propriedade rural. Este diagnóstico é oneroso e requer mão de obra especializada, sendo necessário desenvolver novas tecnologias para detectar os estados de degradação em pastagens.

Com o uso de técnicas de sensoriamento remoto obtêm-se da superfície das pastagens a partir das imagens orbitais e aéreas, os valores de reflectância dos alvos da superfície. Estes valores podem ser tratados e da análise prover dados de índices de vegetação que irão refletir o estado de crescimento da vegetação (Prey et al., 2020). Assim, os equipamentos imageadores podem auxiliar os produtores rurais para um monitoramento mais eficiente da lavoura, da pastagem e dos animais por meio de captação de informações que auxiliam no aprimoramento do desenvolvimento e produtividade dos sistemas agropecuários.

Estes índices são obtidos a partir da razão entre a subtração e a soma das reflectâncias das bandas da região do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (Red) e o emprego destas tecnologias no agronegócio vem ganhando espaço. Ao longo dos últimos anos, o uso de softwares, máquinas agrícolas automatizadas e de precisão, técnicas de reprodução como seleção genética e mais recentemente o uso de sensores imageadores que captam essas reflectâncias a bordo de plataformas estão na vanguarda dos sistemas de inteligência artificial que auxiliam no processo de manejo das áreas de produção agropecuária.

Conforme relatos de Wu (2019) e Valle Júnior et al. (2019), o mapeamento temático espaço-temporal de áreas degradadas auxilia na obtenção de dados para definir práticas de manejo. Os autores mapearam a densidade de carbono orgânico do solo em terras agrícolas e áreas degradadas, respectivamente, utilizando dados de séries temporais de reflectância do NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada), o que demonstra que este monitoramento é essencial para o desenvolvimento do sistema de agropecuária de precisão.

A eficiência da tecnologia para detecção de pastagens mal manejadas permite a identificação pelos próprios pecuaristas da necessidade de mudança no manejo. Muitos produtores não tem a percepção de que suas áreas possuem algum grau de degradação e deterioração do solo. Neste sentido, as técnicas que utilizam o sensoriamento remoto desempenham papel fundamental no cenário de precisão de estimativas para previsões que facilitam o manejo dos produtores.

Mashame e Akinyemi (2016) utilizaram imagens Landsat para classificar o uso/cobertura do solo sazonal e a suscetibilidade à degradação do solo e afirmaram que quanto menor a cobertura do solo, maior a suscetibilidade à degradação. O planejamento e a gestão do uso do solo são fatores-chave que podem reduzir a degradação do solo (Orchard et al., 2013). Assim, as técnicas de monitoramento utilizadas para aumentar a eficiência da gestão de áreas produtivas em estado de degradação são de extrema importância. Dentre estas, as séries temporais de índices de vegetação para detecção das respostas espectrais do desenvolvimento de fisionomias de pastagem estão sendo estudadas.

A análise do uso dos índices de reflectância, NDVI e EVI, como indicadores de níveis de degradação das pastagens tropicais foi o principal objetivo desta investigação, em conjunto com a meta de verificar se o sensoriamento remoto é eficiente para diferenciar o grau de degradação/deterioração da pastagem tropicais e se a reflectância de uma área de pastagem saudável difere da área de cobertura vegetal natural.

Ao analisar os índices de vegetação NDVI e EVI via sensoriamento remoto, utilizando imagens do sensor MODIS, pode-se definir métricas para gerenciar o manejo de áreas degradadas. Nesta investigação foram coletadas em um período de 18 anos, em cinco tratamentos, imagens que representam a reflectância de áreas de mata nativa (MN) (tratamento referencial) e quatro fisionomias de pastagem: pastagem saudável (PS), pastagem com invasoras (PI), pastagem com invasoras e cupim (PIC), pastagem com solo exposto (SE).

Este estudo traz como contribuição determinar métricas de análise espaço-temporal de áreas de pastagem degradada no ambiente tropical e aprimorara as técnicas de monitoramento e identificação nos níveis de degradação das pastagens

tropicais. Com uso de sensoriamento remoto e técnicas de pecuária de precisão, pode ser determinado métricas e valores classificatórios para auxiliar os gestores das fazendas na tomada de decisões sobre o manejo de pastagem tropical. A partir da análise do dossel e de áreas degradadas, pode-se determinar os valores no intuito de elaborar diretrizes para o adequado planejamento e gestão do uso da terra.

Como hipótese definimos que as métricas podem ser indicadores de desempenho das áreas de pastagem. Definir as métricas pode auxiliar na implementação de um projeto para o manejo adequado e as classes são de fundamental importância para otimizar os resultados e nortear o caminho a ser trilhado pelo produtor para o sucesso do empreendimento agropecuário.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Pastagem

O uso do solo mundial com áreas de pastagem é crescente e apresenta uma estimativa de 31,5% da superfície terrestre (Ritchie e Roser, 2019). As pastagens fornecem bens e serviços, como alimentos e forragens, contribuindo significativamente para a subsistência de 800 milhões de pessoas (FAO, 2015; Duan et al., 2019). A América é responsável por mais de 25% das áreas de pastagem global (OECD/ FAO, 2018), e no Brasil, 42,29 % do uso das terras agropecuárias são destinadas às pastagens, totalizando aproximadamente 162 milhões de hectares (IBGE, 2017; Carvalho e Zen, 2017). No Brasil, os estados do Mato Grosso, Minas Gerais e Bahia apresentam a maior extensão de área, equivalente a 20 milhões de ha em cada região, de acordo com o estudo realizado Laboratório de Processamento de Imagens e Processamento da Universidade Federal de Goiás (UFG) em parceria com a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE) (LAPIG, 2021).

A exploração pecuária depende de áreas de pastagens, quer para a manutenção, crescimento ou produção de animais em condições sadias e econômicas na atividade que envolve a criação e venda da produção animal (Ferreira e Zanine, 2007; Pedreira et al., 2015). Na definição de Moraes (1995), entende-se por pastagem o trato de terra coberto por vegetação nativa ou cultivada, principalmente para o pastejo do gado.

As áreas de pastagens são divididas em três categorias: natural, nativa e cultivada. A pastagem natural é a extensão de área na qual a vegetação original ou a vegetação clímax, onde o critério de avaliação de pastagem em relação à composição botânica está adequado, principalmente de espécies herbáceas e arbustos, como os campos do Rio Grande do Sul e os pampas da Argentina (Costa, 2020). A pastagem nativa é uma cobertura vegetal que surge de maneira espontânea e apresenta algum tipo de valor forrageiro, e é considerada a área onde a vegetação original é composta

de floresta, campo cerrado, caatinga, agreste, savana ou campo natural de espécies herbáceas (Campo sujo; campo limpo), (Cezar et al., 2005). As pastagens cultivadas são classificadas em permanentes quando estabelecidas com espécies exóticas ou nativas perenes, e temporárias que geralmente são estabelecidas com espécies anuais (Costa, 2020).

As pastagens cultivadas oferecem maior rendimento e melhor qualidade, porque são originárias de sementes selecionadas, tratando-se naturalmente de espécies adaptadas e indicadas a região (Macedo et al., 2000). Nas regiões tropicais, apresentam capacidade de suporte que varia de 0,5 a 2,5 UA/ha decorrente das técnicas adotadas no estabelecimento, manutenção e manejo (Cezar et al., 2005).

## **2.2 Degradação de pastagem**

O termo “degradação” é caracterizado pela deterioração da área de pastagem pelo esgotamento de recursos naturais, tais como o solo, a água e o ar. É definido como qualquer alteração ou perturbação do ambiente considerada prejudicial ou indesejável ao sistema de produção animal. Uma pastagem para ser considerada degradada apresenta-se como uma área onde a produção animal não é adequada e suficiente com base na necessidade de consumo diário de alimento, com índices zootécnicos muito baixos (Corsi et al., 1996).

Os estágios de degradação são peculiares e podem ser prontamente identificados em relação a um distúrbio fisiológico da espécie dominante para a pastagem, invasão de novas espécies vegetais não desejáveis e condições de instabilidade como o aparecimento de cupinzeiros e áreas de solo exposto.

Os critérios para designar áreas de pastagem degradadas são variados e podem estar relacionados aos aspectos relativos a região ou nível tecnológico da propriedade rural (Dias-Filho, 2006; 2015; Nascimento et al., 2006; Cezar et al., 2005; Nascimento Junior et al., 1994).

Estágio de degradação	Parâmetros restritivos	Declínio na produtividade (%)	Grau
1	Vigor e qualidade da planta forrageira	< 25	Leve
2	1 + Pequena população de plantas	25-50	Moderado
3	1 + 2 + Plantas Invasoras	50-75	Forte
4	1 + 2 + 3 + Formigas e cupins	> 75	Muito forte
5	1 + 2 + 3 + 4 + Fraca cobertura do solo	> 75	Muito forte
6	1 + 2 + 3 + 4 + 5 + Erosão	> 75	Muito forte

Figura 1. Estágios de degradação de pastagens conforme parâmetros restritivos e nível de deterioração. Fonte: Spain e Gualdrón, (1991).

Spain e Gualdrón (1991) estudando a mudança na composição botânica da cobertura vegetal (Figura 1) e Dias-Filho (2015) considerando parâmetros restritivos, declínio na produtividade e grau de degradação (Figura 1), apresentam graus de degradação de pastagem.

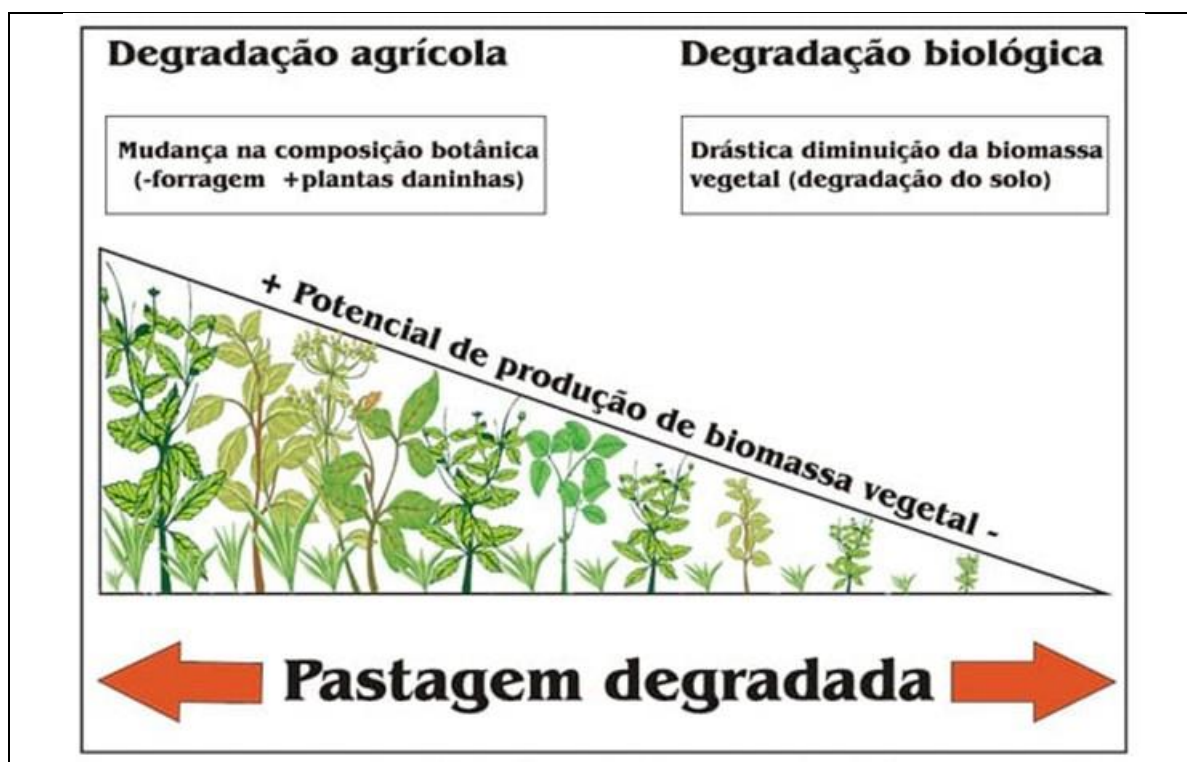


Figura 2. Representação simplificada do conceito de degradação de pastagens. Fonte: Dias-Filho (2006; 2015).

Dias-filho (2015) utilizou como critério na identificação do processo de degradação a mudança na composição botânica da pastagem (degradação agrícola), que é ocasionado pelo aumento de invasoras sem deterioração das propriedades físico-químicas do solo. Entretanto, este processo pode ocorrer por razões de

natureza química (perda dos nutrientes e acidificação), física (erosão e compactação) ou biológica (perda de matéria orgânica), perdendo a capacidade de sustentar produção vegetal significativa (Figura 2).

Macedo (2001) utilizou a representação gráfica simplificada do processo de degradação de pastagens cultivadas em suas diferentes etapas no tempo (Figura 3), divididos em 3 níveis considerando uma fase de manutenção em que a recuperação/renovação tem um custo mais baixo, uma fase de degradação da pastagem onde o seu custo é intermediário e uma fase de degradação do solo onde o custo é mais alto.

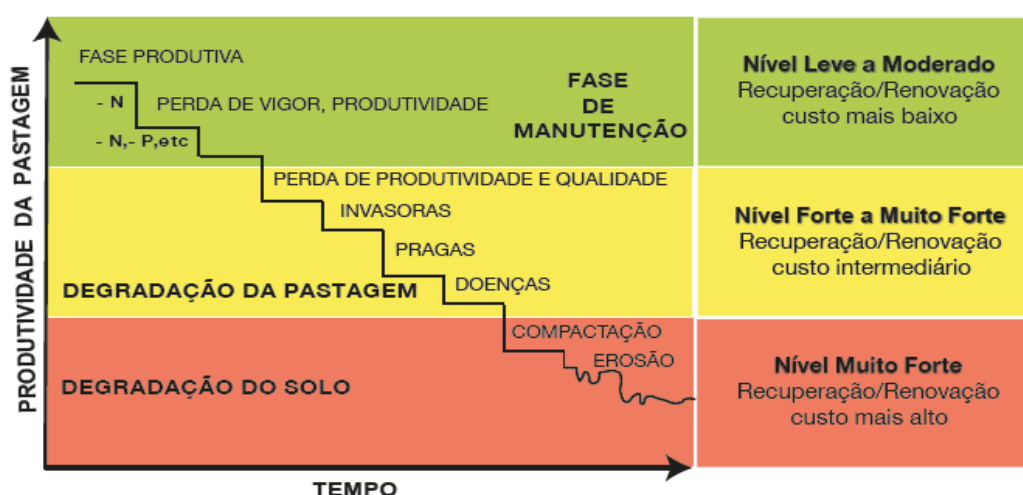


Figura 3. Representação gráfica simplificada do processo de degradação de pastagens cultivadas em suas diferentes etapas no tempo. Fonte: Macedo (2001).

As áreas de pastagem com indício de degradação no Brasil são um dos principais problemas que afetam a pecuária (Valle Júnior et al., 2019) e a viabilidade econômica da produção animal, o que diminui à medida que as características do solo se tornam menos favoráveis. Da área total de pastagem no Brasil, 43% encontram-se não degradadas; e 17%, 16% e 24% apresentam estado de degradação leve, moderada e severa, respectivamente (LAPIG, 2021).

Com o manejo inadequado, o produtor acaba incorrendo em sérios erros na produção animal, abusando da frequência e da intensidade de pastejo, utilizando

superpastejo e deteriorando o solo. Quando a atividade atinge o estado avançado de exposição do solo, as pastagens encontram-se degradadas (Andrade et al., 2013).

Este processo causa grandes áreas de solos expostos, invasão de plantas daninhas, intensa erosão no solo, sinais evidentes de deficiência nutricional nas plantas e nos animais, menor taxa de crescimento das plantas, mudança do hábito de crescimento das plantas e baixa produtividade (Dorigo et al., 2007; Johnson e Trout, 2012; Moreira et al., 2020).

Como meta para um manejo mais adequado, é necessário determinar ferramentas para auxiliar os produtores rurais a detectar essas áreas de degradação e auxiliar na tomada de decisão para um manejo mais sustentável e conservacionista (Eddy et al., 2017).

O manejo das pastagens tropicais ocorre nas áreas nativas e cultivadas e é realizado para suportar um grupo de animais durante uma estação de pastejo. O dossel da área de pastagem (porção do pasto acima do solo; parte aérea) é estudado para a produção de forragem a ser consumida pelo animal em pastejo e o pasto é formado pela comunidade vegetal monoespecífica ou não, em áreas nativas e cultivadas, como fonte de alimentação para a indústria da produção animal (Eddy et al., 2017; Fern et al., 2018; Weber et al., 2018).

As áreas de florestas e, em seguida, as de pastagens são consideradas sumidouros de carbono da superfície terrestre (Machado et al., 2020). Sendo assim, desempenham um papel vital na regulação do ciclo global do carbono, bem como no provento de maior produtividade animal. No entanto, muitas áreas encontram-se degradadas (Valle Junior et al., 2019) e este processo de degradação tem sérias repercussões para o meio (Pacheco et al., 2018; Silva et al., 2020) levando a interações mais complexas entre ecossistemas de pastagens e práticas de manejo, o que resulta na diminuição da qualidade do solo e das atividades humanas, juntamente com condições ambientais desfavoráveis, ocasionando mudanças na produtividade das pastagens.

### **2.3 Monitoramento das áreas de pastagem utilizando técnicas de sensoriamento remoto**

O monitoramento das áreas de pastagem utilizando técnicas de sensoriamento remoto se baseia na teoria das variáveis regionalizadas em que medidas mais próximas tendem a ser mais parecidas do que valores observados em locais mais distantes (Valle Júnior et al., 2019). Tais técnicas fornecem métodos para quantificar esta autocorrelação espacial e incorporá-la na estimação de valores em locais não observados (Johnsen et al., 1996; Ponzoni, 2001; Ponzoni e Shimabukuro, 2007) e conduz a uma das principais vertentes da chamada Pecuária de Precisão. Porém existe uma lacuna nessa área do conhecimento, que é definir métricas para classificar os estados de degradação de pastagens tropicais.

A tecnologia que está crescendo cientificamente baseia-se no conhecimento de como a vegetação processa a radiação eletromagnética e utiliza as técnicas por meio do sensoriamento remoto. A análise da vegetação e a detecção de mudanças são realizadas com o intuito de avaliar os recursos naturais e monitorar o dossel das áreas de pastagem (Weber et al., 2018; Lopes et al., 2020; Santana e Galvíncio, 2013). Assim, o aprimoramento do conhecimento da interação da resposta eletromagnética e da vegetação ocorre pela realização de estudos no tema referido por Comportamento Espectral da Vegetação. Este fato representa as características de reflectância da resposta eletromagnética pelas folhas, plantas individuais e conjunto de plantas (dossel) nas áreas de pastagem nativa e cultivada.

Os índices de vegetação são modelos matemáticos usados para medir a quantidade de reflectância das plantas e com isso definir a taxa fotossintética do vegetal com base nas coberturas vegetais. Esses dados são coletados a partir de fotografias captadas por sensores especiais instalados em aparelhos, em plataformas aéreas, terrestres e orbitais, como drones, aviões ou satélites. Tais índices podem ser utilizados para a determinação de uma gama de parâmetros biofísicos e características da vegetação e do solo exposto (Moreira et al., 2020). Entender como a distribuição espacial e temporal do dossel das pastagens ocorre é importante para determinar e estabelecer práticas de manejo adequadas nas áreas de pastagens

degradadas, visando não somente à otimização da produtividade da produção animal, mas também a minimização de possíveis impactos negativos ao meio (Zhumanova et al., 2018).

Índices espectrais de vegetação (IV)., têm sido largamente utilizados para monitorar a cobertura vegetal da Terra em escalas global e/ou local (Miura et al., 2001; Brito et al., 2018; Valle Júnior et al., 2019; Cui e Shi, 2021). Os índices mais difundidos são o NDVI e o EVI (Weir e Hering, 2012; Pinto et al., 2014; Junges et al., 2016; Cui e Shi, 2021).

A análise espaço-temporal do índice de reflectância pode indicar, por meio de técnicas estatísticas e de sensoriamento remoto (Junges et al., 2016; Calegario et al., 2019) as áreas mais adequadas para implementar alternativas de manejo, não só para reduzir os efeitos dos impactos causados sobre a produção das pastagens, mas também para aumentar a possibilidade de estimar respostas das pastagens sob determinadas práticas de restauração (Rudorff et al., 2007; Tepanosyan et al., 2017).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada ou NDVI é calculado nos valores das bandas que cobrem o vermelho (Red) e infravermelho (NIR) no espectro eletromagnético (Kariyeva e Leeuwen, 2011; Fern et al., 2018; Weber et al., 2018). O EVI é o Índice de Vegetação Melhorado e seu cálculo considera as bandas do vermelho e do infravermelho, como o NDVI, e utiliza ainda a banda do azul para minimizar as influências atmosféricas no índice. Esses índices normalizam a reflectância de imagens em valores que podem ser interpretados como um diagnóstico para monitorar áreas de sistema de produção vegetal e animal.

Os valores obtidos podem ser analisados por meio da interpretação de imagens de sensores remotos e, em particular, por valores obtidos em diferentes datas, que permitem avaliar a variação que ocorre no dossel em um determinado período de tempo. Assim, avaliar a degradação do solo com técnicas de sensoriamento remoto é essencial para obter informações mais adequadas sobre as possíveis consequências de deterioração do meio e desenvolver medidas de manejo potenciais (Epiphany et al., 2010; Ballayan, 2000; Cui e Shi, 2021).

### 2.3.1 NDVI

Proposto por Rouse et al. (1973), o NDVI tem com o objetivo de determinar a região espectral da radiação fotossinteticamente ativa (*PAR - Photosynthetically active radiation*), que usa como fonte de energia no processo de fotossíntese. É frequentemente usado para medir a intensidade de atividade clorofiliana, inclusive comparando vários períodos distintos.

As plantas verdes vivas absorvem a radiação solar na região espectral da PAR e as células das folhas reemitem a radiação solar na região espectral do NIR (que carrega aproximadamente metade da energia solar total de entrada), porque a energia do fóton em comprimentos de onda maiores do que cerca de 700 nanômetros é muito pequena para sintetizar moléculas orgânicas. Portanto, as plantas verdes vivas aparecem relativamente escuras na PAR e relativamente brilhantes no NIR, (Jensen e Epiphanyo, 2009).

Como o pigmento das folhas das plantas, a clorofila absorve fortemente a luz visível (de 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ) para uso na fotossíntese, a estrutura celular das folhas, por outro lado, reflete fortemente a luz infravermelha próxima (NIR) (de 0,7 a 1,1  $\mu\text{m}$ ). Assim, quanto mais folhas uma planta tem, mais esses comprimentos de onda de luz são refletidos. Com os sensores que captam as reflectâncias no NIR e Red, as fortes diferenças na refletância das plantas são calculadas para determinar a distribuição espacial e inferir resultados de desenvolvimento e crescimento das plantas, bem como o estado nutricional (Jensen e Epiphanyo, 2009). Os valores obtidos com o NDVI são contidos em uma mesma escala de valores, entre - 1 e + 1, de modo que quanto mais próximo do 1, maior indício de presença de vegetação, e quanto mais próximo do 0 (zero) maior indício de presença de solos descobertos e rochas.

É uma relação entre medidas espectrais (reflectância -  $r$ ) de duas bandas, a do NIR (800-1100 nm) e a do Red (600-700 nm), e visa eliminar diferenças sazonais do ângulo do Sol e minimiza os efeitos da atenuação atmosférica, observados para dados multitemporais. Na Figura 4, a reflectância é demonstrada através da vegetação verde que absorve a luz visível e reflete a luz infravermelha próxima e da vegetação esparsa que reflete mais luz visível e menos luz infravermelha próxima.

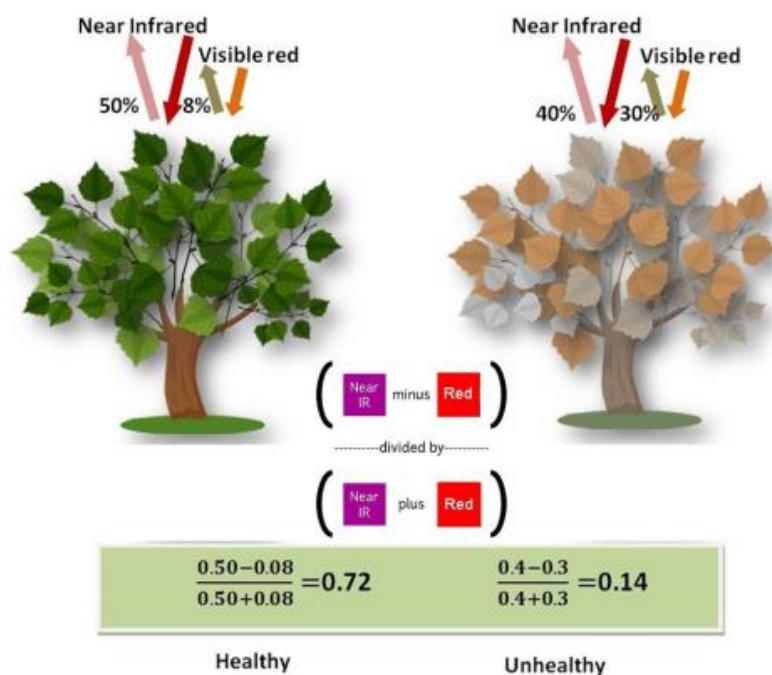


Figura 4. Ilustração da reflectância de acordo com a situação da vegetação.  
 FONTE: [https://www.researchgate.net/figure/266947355\\_fig1\\_Figure-1-Green-vegetation-left-absorbs-visible-light-and-reflects-near-infrared-light](https://www.researchgate.net/figure/266947355_fig1_Figure-1-Green-vegetation-left-absorbs-visible-light-and-reflects-near-infrared-light)

O NDVI está diretamente relacionado à capacidade fotossintética e, portanto, à absorção de energia das copas das plantas e permite analisar da melhor forma as variações sofridas pela cobertura vegetal ao longo do tempo. É muito utilizado por sua acurácia em relação aos índices de vegetação (Lima et al., 2015), e identifica melhor as mudanças em relação aos alvos vegetativos, ressaltando a vegetação densa (Santiago et al., 2009).

Na faixa do IR a clorofila absorve a energia solar ocasionando uma baixa reflectância, enquanto na faixa do NIR, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam uma alta reflectância da energia solar incidente (Lourenço e Ladim, 2004; Silva et al., 2008).

Aguiar et al. (2010) utilizaram séries temporais do sensor Modis para avaliar áreas de pastagens, distinguindo pastagens com plantas invasoras e pastagens em bom estado para a melhor produção animal, porém sem diferir pastagens com cupins e solo nu de outras classes de pastagem. Santana et al. (2010), modelaram para a pastagem as mudanças fisionômicas à partir de dados do NDVI-MODIS para a bacia

do rio Paracatu. Anjos et. al. (2013), analisando series temporais de imagens orbitais no triângulo mineiro verificaram que a substituição da pastagem por outros tipos de cobertura de terras (por exemplo, culturas agrícolas e vice-versa) é facilmente identificada na série temporal do MODIS.

Andrade et al. (2013), diferenciou três níveis de degradação em pastagens utilizando uma imagem do sensor TM (Thematic Mapper) do satélite Landsat-5 e posteriormente identificou cerca de 18,4 milhões de hectares em pastagens plantadas no cerrado com algum indicativo de degradação utilizando o NDVI do sensor SPOT Vegetation no bioma Cerrado (Andrade et al., 2015). Li et al. (2017), detectou a mudança do ambiente ecológico através da análise combinada da cobertura do solo e NDVI enquanto Zewdie et al. (2017), utilizaram o NDVI para monitorar a dinâmica dos ecossistemas e avaliar as tendências de longo prazo.

Valera et al (2019) determinaram um modelo para a conservação de pastagens relacionado ao impacto na qualidade da água em bacias hidrográficas utilizando a metodologia *Partial Least Squares-Path Modeling*, e concluíram que a conservação de pastagens contribui inequivocamente para a melhoria da qualidade da água ( $\beta = 0,800$ ), expressa como alto ORP, com ajustes de modelo ( $R^2$ ) altos.

Valle Júnior et al. (2019) estudaram a degradação das pastagens, que representa um problema ambiental global que exige mitigação. Com base em valores NDVI extraídos de imagens de satélite foram determinados os valores da reflectância para pastagens saudáveis, suavemente degradadas, moderadamente degradadas e degradadas (chamadas fisionomias), baseado em relações não lineares entre valores de NDVI e tempo e em relação a resistência mecânica à penetração no solo. Os resultados expuseram que 160,1 km<sup>2</sup> de pastagem encontra-se degradada para  $3 \leq n \leq 18$ , o que representa 60% de todas as pastagens. As áreas mapeadas como pastagens degradadas foram submetidas a verificação de campo em 38 locais de validação, tendo como parâmetro de validação a resistência à penetração, com 84,1% de acerto. Diante dos graves danos ambientais decorrentes da degradação das pastagens, várias medidas de mitigação foram discutidas, incluindo a proteção dos solos degradados por meio do “princípio do poluidor-pagador”.

### 2.3.2 EVI

O EVI em seu cálculo considera as bandas do vermelho (IR), do infravermelho (NIR) e utiliza a banda do azul para minimizar as influências atmosféricas no índice. O EVI foi ponderado para ser um índice de vegetação 'otimizado' que tem como objetivo aumentar o sinal de vegetação com sensibilidade aprimorada em regiões de alta biomassa e monitoramento de vegetação aprimorado por meio de um desacoplamento do sinal de fundo do dossel e uma redução nas influências da atmosfera (Jensen e Epiphanyo, 2009).

O índice foi obtido segundo Justice et al. (1998) que utiliza os coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera e o azul, que é a reflectância da região espectral do azul. É um índice utilizado na avaliação do vigor da vegetação, pois está diretamente relacionado com variações ocorridas na cobertura verde (Justice et al., 1998). Imagens EVI são geradas por meio das bandas individuais na faixa espectral do azul, vermelho e infravermelho do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS). Tal índice minimiza os efeitos de resposta do solo e atmosfera, como também apresenta alta resposta a variações fenológicas (Justice et al., 1998).

Os dois índices complementam-se em estudos globais de vegetação e melhoram a detecção de mudanças na vegetação e extração de parâmetros biofísicos do dossel. Outra diferença entre o NDVI e o EVI é que, na presença de neve, o NDVI diminui, enquanto o EVI aumenta (Huete et al, 2002).

Almeida et al. (2008) estudaram o EVI na análise da dinâmica da vegetação da Reserva Biológica de Sooretama-ES e enfatizam que em muitos dos estudos com dados de sensoriamento remoto, os que são relacionados com o domínio do tempo têm proporcionado melhores resultados diante dos casos de domínio espacial, radiométrico e espectrais. Os autores aplicaram técnicas de sensoriamento remoto e análises de séries temporais para monitorar as variações temporais em um fragmento florestal de Mata Atlântica de Tabuleiros. A hipótese considerada é de que a série do EVI é uma ferramenta adequada para avaliar mudanças na floresta dentro do domínio do tempo.

O índice de vegetação melhorado proposto por Rouse et al. (1973), permite analisar da melhor forma as variações sofridas pela cobertura vegetal ao longo do tempo (Figura 5), sendo muito utilizado por sua acurácia em relação aos índices de vegetação (Lima et al., 2015), identificando melhor as mudanças em relação aos alvos vegetativos, ressaltando a vegetação densa (Santiago et al., 2009). É uma relação entre medidas espectrais (reflectância -  $r$ ) de duas bandas, a do NIR (800-1100 nm) e a do Red (600-700 nm), e visa eliminar diferenças sazonais do ângulo do Sol e minimiza os efeitos da atenuação atmosférica, observados para dados multitemporais.

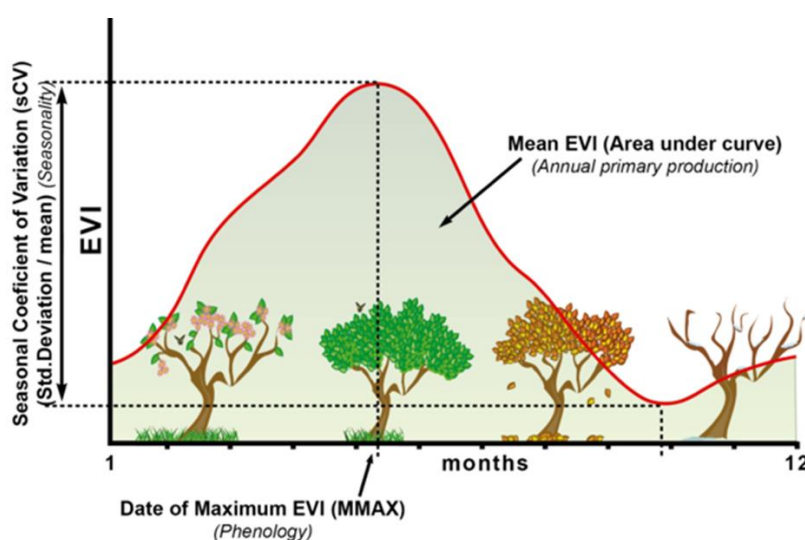


Figura 5. Curva anual de índices espectrais de vegetação (VI).  
 Fonte: [https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:AnualDynamics\\_EVI\\_3vars.png&oldid=436697582](https://commons.wikimedia.org/w/index.php?title=File:AnualDynamics_EVI_3vars.png&oldid=436697582)

Na faixa do Red, a clorofila absorve a energia solar ocasionando uma baixa reflectância, enquanto na faixa do NIR, tanto a morfologia interna das folhas quanto a estrutura da vegetação ocasionam uma alta reflectância da energia solar incidente (Lourenço e Ladim, 2004).

O NDVI possibilita mapear áreas com diferentes estádios de cobertura vegetal, e vigor de biomassa verde (Silva, 2015), pois o NDVI é sensível à clorofila enquanto o EVI é mais sensível a variações na resposta estrutural do dossel complementando-

se e fornecendo informações sobre detecção de mudanças vegetais e parâmetros biofísicos do dossel (Huete et al. 2002).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Os objetivos desta pesquisa foram utilizar índices de reflectância, NDVI e EVI, como indicadores de níveis de degradação das pastagens tropicais; verificar se o sensoriamento remoto é eficiente para diferenciação do grau de degradação/deterioração da pastagem tropicais; verificar se a reflectância de uma área de pastagem saudável difere da área de cobertura de mata nativa.

#### **3.2 Hipótese**

H0: Os índices de reflectância, NDVI e EVI não podem ser utilizados como indicadores de níveis de degradação das pastagens tropicais

H1: Os índices de reflectância, NDVI e EVI podem ser utilizados como indicadores de níveis de degradação das pastagens tropicais

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Caracterização da área de estudo

As áreas experimentais para a condução deste estudo foram selecionadas mediante verdade terrestre e estão localizadas nos municípios de Taiúva, Jaboticabal, Monte Alto, Taiacú, Taquaritinga, Santa Adélia, Vista Alegre do Alto e Pirangi, nordeste do Estado de São Paulo, Brasil (Figura 6).

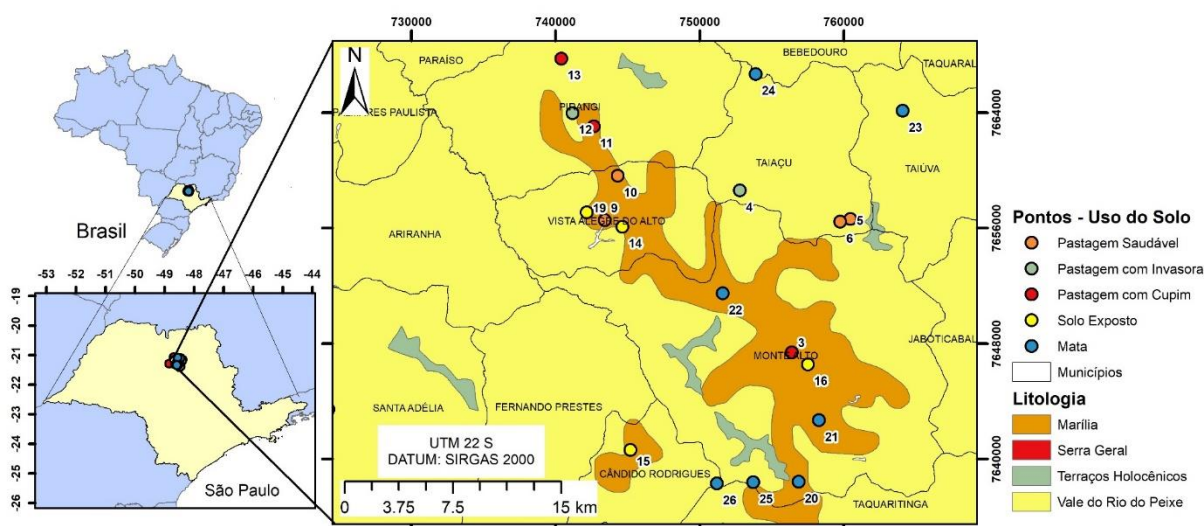


Figura 6. Localização das áreas experimentais com pastagens, Estado de São Paulo.

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa, com verão quente e inverno seco, precipitação média anual de 1.400 mm e temperatura média de 23°C, (CEPAGRI, 2020).

O solo da área de estudo é o Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (PVAe), desenvolvido dos arenitos do Grupo Bauru, sob a Formação Vale do Rio do Peixe (antiga Formação Adamantina) e da Formação Marília.

A vegetação natural original é composta por floresta latifoliada tropical e trechos de Cerrado. O uso e a ocupação atual do solo compreendem principalmente áreas











com o cultivo de cana-de-açúcar, citros, pastagem, culturas temporárias e fragmentos florestais remanescentes.

Para estabelecer os critérios de fisionomias de pastagens, os seguintes aspectos foram considerados: região e nível tecnológico da propriedade rural (Dias-Filho, 2006), distúrbio fisiológico da espécie dominante, mudança na composição botânica e a invasão de novas espécies e quantidade da pastagem com o desaparecimento da espécie dominante e com invasoras e áreas com o comprometimento das condições de estabilidade do solo ou grau de erosão (Nascimento Junior et al., 1994; Nascimento et al., 2006).

A pastagem degradada foi considerada em áreas em processo evolutivo da perda do vigor e de produtividade, com o sistema sem a recuperação natural para sustentar os níveis de produção e qualidade exigida pelos animais, bem como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e invasoras, culminando com a degradação avançada dos recursos naturais em razão de manejos inadequados e com o solo exposto (Macedo e Zimmer, 1993; Macedo, 1995; Zimmer et al., 2012).

A coleta de dados foi realizada em cinco tratamentos com as seguintes fisionomias de pastagem: (1) Pastagem saudável - PS; (2) Pastagem com espécies vegetais invasoras - PI; (3) Pastagem com espécies invasoras + cupim - PIC; (4) Pastagem com solo exposto - SE; (5) Mata Nativa - MN (Quadro 1).

Quadro 1. Descrição dos tratamentos das fisionomias da pastagem e imagens das áreas de estudo.

Tratamentos	Fisionomia	Imagem	Descrição
(1) Pastagem saudável - PS			Pastagens em condições sadias e econômicas para a manutenção, crescimento ou produção animal
(2) Pastagem com espécies vegetais invasoras - PSI			Processo evolutivo da perda do vigor e de produtividade, com espécies invasoras
(3) Pastagem com espécies invasoras + cupim PIC			Processo evolutivo da perda do vigor e de produtividade, com espécies invasoras + cupim
(4) Pastagem com solo exposto SE			Processo evolutivo da perda do vigor e de produtividade, e áreas com processo erosivo intenso e solo exposto
(5) áreas de Mata Nativa - MN			Área composta por um conjunto de plantas nativas, especialmente arbóreas

A reflectância, isto é, a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície do dossel e o fluxo de radiação global incidente (Allen et. al., 2011) foi obtida a partir de dois índices de vegetação:

(1) Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973; 1974), com valores possíveis variando de -1 a 1. O cálculo desse índice foi realizado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \dots\dots\dots(1)$$

Em que, NIR é o valor da reflectância no infravermelho próximo (800-1100 nm; banda 2 do sensor MODIS); Red é a reflectância na faixa do vermelho (600-700 nm; banda 1 do sensor MODIS). Esse índice minimiza as interferências relativas às variações provenientes do ângulo solar e dos efeitos atmosféricos, observados para dados multitemporais. Os valores obtidos com o NDVI são contidos em uma mesma escala de valores, entre -1 e 1.

(2) Índice de Vegetação Melhorado (EVI), obtido pela seguinte equação (JUSTICE et al., 1998):

$$EVI = 2,5 \frac{(NIR-Red)}{(L+NIR+C1Red-C2Blue)} \dots\dots\dots(2)$$

Em que, NIR é o valor da reflectância no infravermelho próximo (800-1100 nm); Red é a reflectância da região espectral do vermelho (600 e 700nm); L é fator de ajuste para o solo; C1 e C2 são coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera; azul é a reflectância da região espectral do azul (400 - 500 nm). Os valores dos coeficientes são L = 1, C1 = 6, C2 = 7,5 e o fator de ganho G = 2,5 (JUSTICE et al., 1998).

Os dados dos índices de vegetação foram extraídos dos valores correspondentes do pixel em cada imagem analisada nos histogramas obtidos no programa informatizado do Sistema de Análise Temporal da Vegetação (SATVeg), que é uma ferramenta web, de uso gratuito, destinada à observação e análise de perfis temporais de índices vegetativos por diferença normalizada e de realce da vegetação (NDVI e EVI), do sensor MODIS (Meneses e Almeida, 2012; Miura, et al., 2008; Moreira e Assad, 2000).

Esses índices expressam as variações da biomassa verde e permitem observar o comportamento da vegetação na superfície terrestre ao longo do tempo, oferecendo

apoio a atividades de monitoramento agrícola e ambiental e apoio ao governo na elaboração de políticas públicas ambientais e agrícolas.

As imagens foram compostas com o produto MOD13Q1 da série 5, composição de 16 dias e foram disponibilizadas no formato HDF-EOS (*hierarchical Data Format – Earth Observing System*) na projeção sinusoidal.

No programa *Modis Reprojection Tool (MRT)*, desenvolvido pela NASA, as imagens foram convertidas para o formato geotiff e projeção geográfica latitude-longitude com sistema de referência WGS84, em qualquer local da América do Sul, com atualização regular, conforme disponibilidade de imagens pelo LP-DAAC/EOS-NASA (<https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg/login.html>).

Para a análise temporal, foram obtidos os dados em imagens de satélite multitemporais do sensor MODIS (Anderson et al., 2003; Barker et al, 1992) no programa informatizado SATVeg (Figura 7) entre os anos de 2000 a 2018, totalizando 18 anos de dados disponíveis na plataforma em cinco tipos de fisionomias de pastagem geradas na identificação dos padrões de reflectância das áreas. As imagens coletadas pelo satélite Modis (*Modis Vegetation Index*) possuem periodicidade de 16 dias, totalizando 23 imagens por ano.

A análise dos resultados foi realizada em cada imagem, nos valores de Pixel. Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva calculando-se média, variância, desvio-padrão, máximo, mínimo e coeficiente de variação. Nesta análise descritiva dos dados utilizou-se o software R e planilhas do Excel.

Após a análise de variância e regressão, avaliou-se qual a melhor equação de ajuste que representa o valor do pixel ao longo do ano, correspondente às fisionomias de pastagem da área de estudo, avaliadas a partir do coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

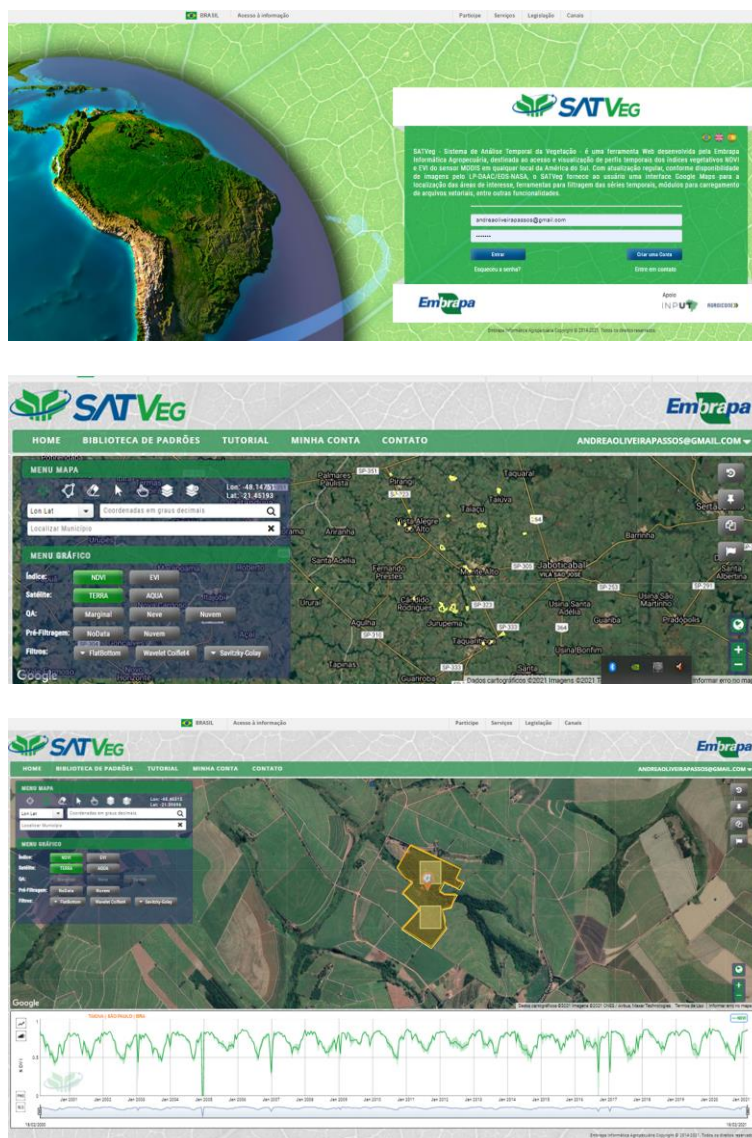


Figura 7. Tela do Programa SATveg elaborada pelo autor.

Os dados foram submetidos a análises estatísticas ANOVA e comparados em Teste de Tukey de médias, ao nível de significância de 5%. As bandas espectrais foram utilizadas como preditores de fisionomias de pastagem em cinco grupos, que representavam níveis de degradação do solo: pastagem saudável, pastagem com invasoras, pastagem com invasoras e cupim, pastagem com solo exposto e áreas de mata nativa.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados da espacialização de cada tratamento referentes à análise estatística descritiva (maior, menor, média, moda, mediana, desvio padrão (DP) e coeficiente de variação (CV) dos índices de vegetação (NDVI e EVI) na área em estudo, podem ser observados na Figura 8 e na Tabela 2.

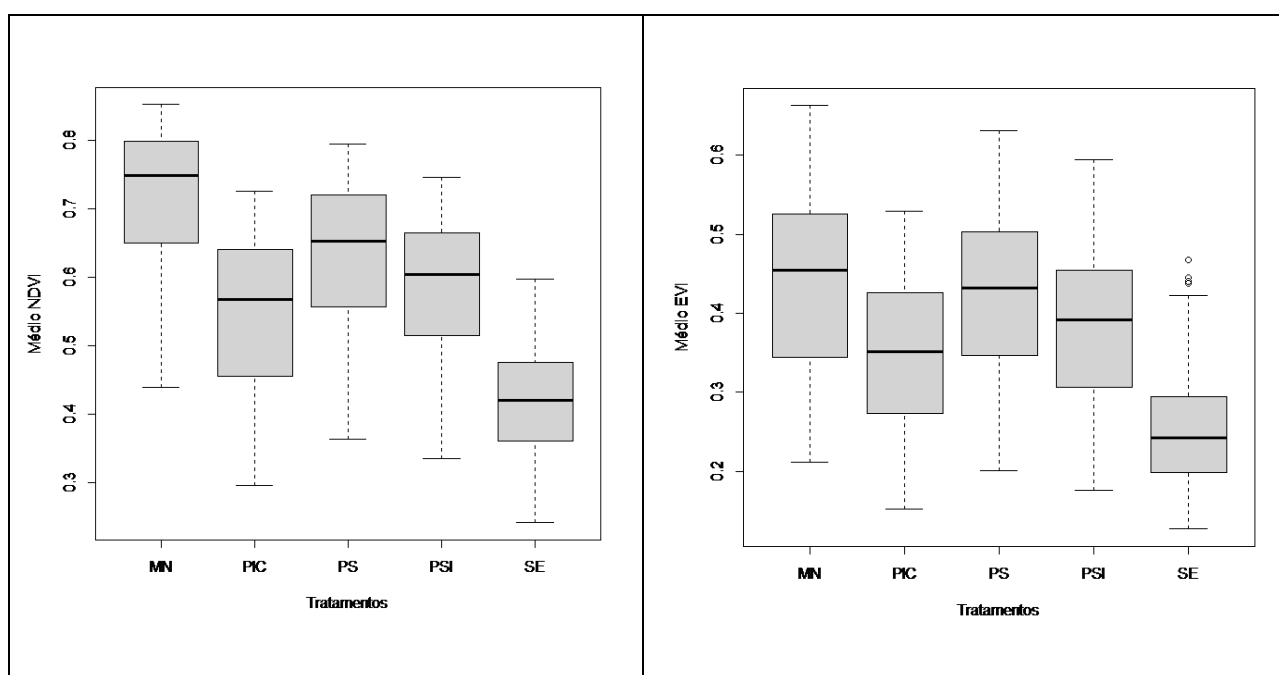


Figura 8. Box-plot dos valores de NDVI e EVI dos tratamentos de fisionomias de pastagem.

Tabela 2. Tratamentos e desvios nos valores de NDVI e EVI.

Tratamentos	NDVI	EVI
1. PS - Pastagem Saudável	0,64 b ± 0,10	0,42 a ± 0,09
2. PSI – Pastagem e Invasoras	0,58 c ± 0,10	0,38 b ± 0,09
3. PIC – Pastagem Invasoras e Cupim	0,55 d ± 0,11	0,35 c ± 0,09
4. PSE – Pastagem solo exposto	0,42 e ± 0,08	0,25 d ± 0,07
5. MN – Mata Nativa (Testemunha)	0,72 a ± 0,10	0,44 a ± 0,11
Coeficiente de Variação	17,03 %	24,91 %

\* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey (95% de probabilidade).

Tabela 3. Valores mínimos (Min), máximos (Máx.) e médios do NDVI e EVI dos tratamentos de fisionomias de pastagem.

PS	Min NDVI	Máx. NDVI	Médio NDVI	Min EVI	Máx. EVI	Médio EVI
Maior	0.77	0.87	0.79	0.60	0.77	0.63
Menor	0.19	0.45	0.36	0.12	0.27	0.20
Média	0.55	0.70	0.64	0.35	0.49	0.42
Moda	0.72	0.73	0.75	0.22	0.52	0.41
Mediana	0.57	0.73	0.65	0.35	0.51	0.43
DP	0.13	0.09	0.10	0.10	0.10	0.09
CV	23.27	12.17	15.49	28.97	19.60	21.93
PSI	Min NDVI	Máx. NDVI	Médio NDVI	Min EVI	Máx. EVI	Médio EVI
Maior	0.70	0.83	0.75	0.53	0.76	0.59
Menor	0.24	0.39	0.33	0.11	0.24	0.18
Média	0.46	0.68	0.58	0.27	0.47	0.38
Moda	0.52	0.78	0.67	0.23	0.59	0.44
Mediana	0.47	0.71	0.60	0.27	0.49	0.39
DP	0.10	0.10	0.10	0.08	0.10	0.09
CV	21.84	14.61	17.61	28.91	21.96	24.41
PIC	Min NDVI	Máx. NDVI	Médio NDVI	Min EVI	Máx. EVI	Médio EVI
Maior	0.69	0.83	0.73	0.48	0.66	0.53
Menor	0.22	0.33	0.30	0.11	0.18	0.15
Média	0.45	0.64	0.55	0.28	0.42	0.35
Moda	0.58	0.74	0.61	0.29	0.50	0.44
Mediana	0.46	0.66	0.57	0.27	0.43	0.35
DP	0.12	0.11	0.11	0.09	0.11	0.09
CV	26.54	17.90	20.36	32.67	25.27	26.47
PSE	Min NDVI	Máx. NDVI	Médio NDVI	Min EVI	Máx. EVI	Médio EVI
Maior	0.57	0.75	0.60	0.39	0.70	0.47
Menor	0.14	0.28	0.24	0.07	0.15	0.13
Média	0.29	0.54	0.42	0.15	0.37	0.25
Moda	0.24	0.54	0.50	0.11	0.32	0.28
Mediana	0.28	0.55	0.42	0.14	0.34	0.24
DP	0.08	0.10	0.08	0.05	0.11	0.07
CV	27.13	17.92	18.64	34.04	29.87	26.65
MN	Min NDVI	Máx. NDVI	Médio NDVI	Min EVI	Máx. EVI	Médio EVI
Maior	0.82	0.94	0.85	0.61	0.75	0.66
Menor	0.32	0.56	0.44	0.10	0.29	0.21
Média	0.62	0.79	0.72	0.35	0.52	0.44
Moda	0.73	0.86	0.80	0.44	0.61	0.53
Mediana	0.65	0.82	0.75	0.35	0.53	0.45
DP	0.12	0.08	0.10	0.11	0.11	0.11
CV	19.49	9.94	14.02	32.33	20.32	24.81

As classes analisadas dos índices de vegetação na imagem Modis das áreas experimentais de fisionomias de pastagem apresentam uma amplitude de valores de NDVI entre 0,24 a 0,85, com média de 0,58, desvio-padrão de 0,14 e coeficiente de variação de 24,09%, e de EVI entre 0,13 e 0,66, média de 0,37, desvio-padrão de 0,11 e CV de 30,91% (Tabelas 2 e 3 e Figura 8).

No tratamento MN, os valores de NDVI variaram entre 0,32 e 0,94, com média de 0,72, desvio-padrão de 0,10 e CV 14,02% e os valores de EVI, variaram entre 0,10 e 0,75, com média de 0,44, desvio-padrão de 0,11 e CV 24,81% (Tabela 3; Figura 8) e diferiram significativamente do tratamento SE nos valores de NDVI que variaram entre 0,14 e 0,75, com média de 0,42, desvio-padrão de 0,08 e CV 18,64%.

Os valores de EVI, no tratamento MN variaram entre 0,07 e 0,70, com média de 0,25, desvio-padrão de 0,07 e CV 26,65% (Tabelas 2 e 3; Figura 8). Esses valores são considerados médios e representam áreas com maior porte vegetativo (MN) e áreas desprovidas de vegetação e mais dessecadas (SE). O EVI não detectou diferença entre os valores do tratamento MN e PS.

Segundo Ponzoni (2001), a interpretação dos índices de vegetação considera fatores limitantes, tais como o ponto de saturação no qual o incremento de biomassa vegetal não pode mais ser acompanhado pelo aumento dos valores do índice, as interferências atmosféricas, as larguras das bandas espectrais utilizadas e as características de qualidade da imagem inerentes ao sensor utilizado. Segundo Huete (1988), enquanto o NDVI é sensível à presença de clorofila na vegetação, o EVI é mais responsivo às variações estruturais do dossel, incluindo o índice de área foliar (IAF), tipo de dossel, fisionomia da planta e a arquitetura do dossel (Gao et al., 2006).

Analisando as fisionomias de pastagem, entre os tratamentos PS, PI e PIC, foi possível detectar a influência dos tratamentos na forma de curva do perfil temporal do NDVI e EVI, sendo visualmente perceptível na medida em que essas diferenças são combinadas (Figura 9).

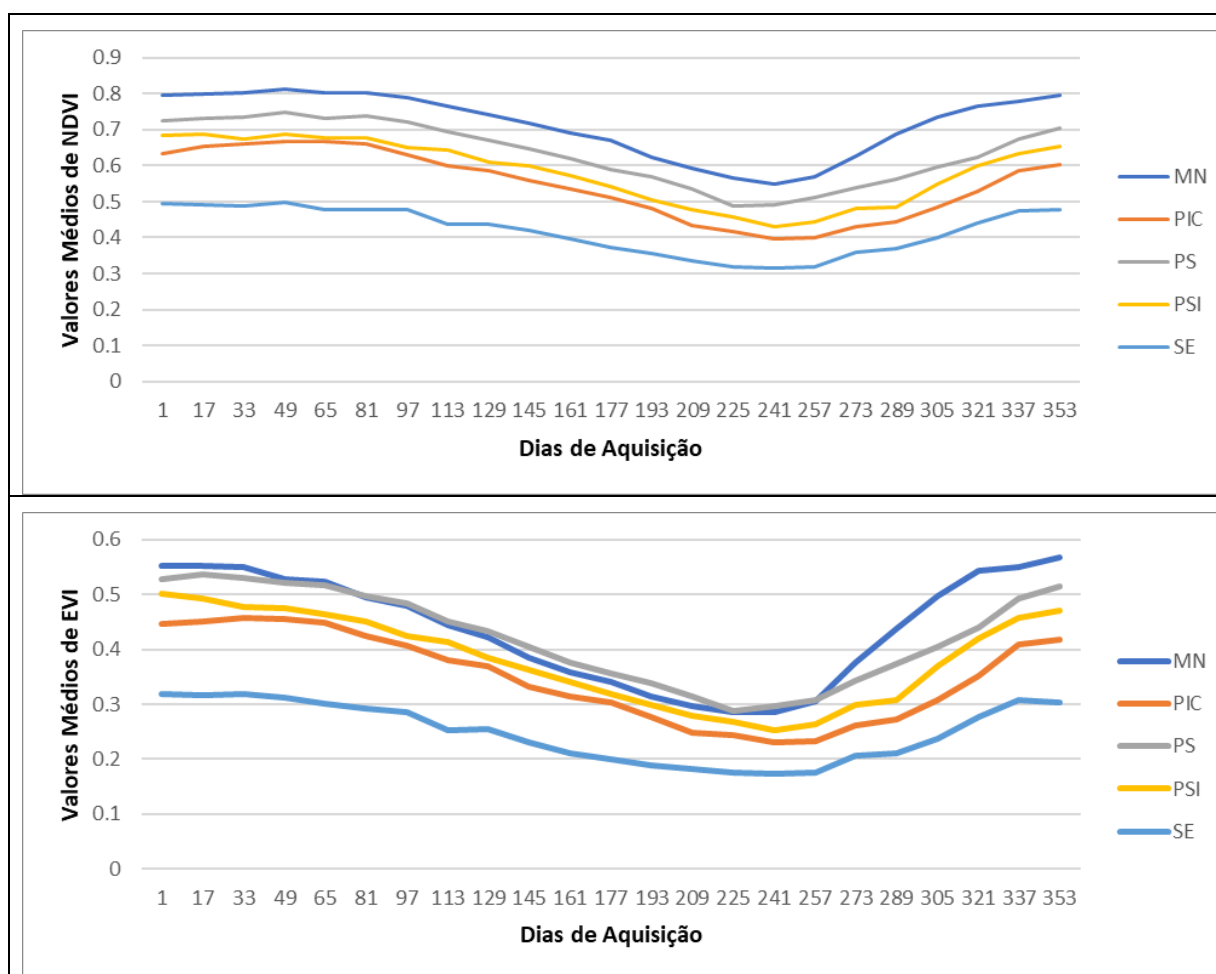


Figura 9. Perfil temporal dos valores de NDVI e EVI das fisionomias da pastagem.

Na classificação para o coeficiente de variação (CV), os valores obtidos do NDVI e EVI apresentaram baixa variabilidade (Tabela 2), segundo a classificação proposta por Cambardella et al. (1994). A medida estatística CV permite comparar a variabilidade entre amostras de variáveis com unidades diferentes.

A relação direta da densidade do dossel com o NDVI e EVI pode ser observada na Figura 10. Os coeficientes de correlação linear simples entre os índices de vegetação NDVI e EVI demonstraram uma correlação positiva e significativa.

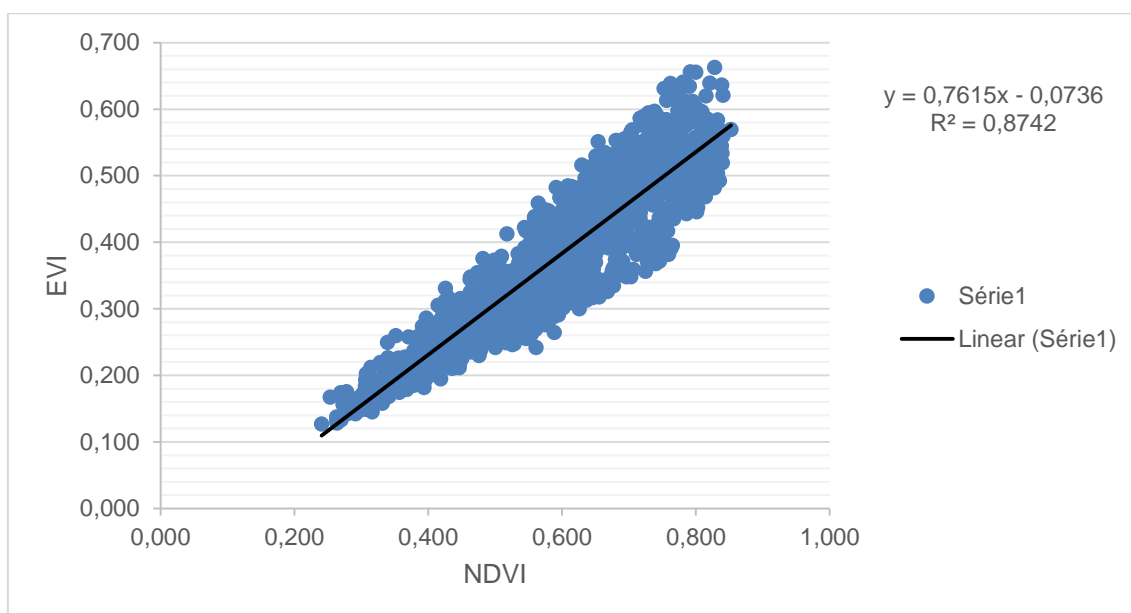


Figura 10. Correlação linear simples entre os índices de vegetação NDVI e EVI.

#### Quadro 2. Estatística de regressão.

Estatística de regressão*	R múltiplo	R-Quadrado	R-quadrado ajustado	Erro padrão	Observações
1. PS - Pastagem Saudável	0.938	0.880	0.880	0.032	414
2. PSI – Pastagem e Invasoras	0.947	0.897	0.897	0.030	414
3. PIC – Pastagem Invasoras e Cupim	0.954	0.911	0.911	0.028	414
4. PSE – Pastagem solo exposto	0.905	0.819	0.819	0.028	414
5. MN – Mata Nativa - Referência	0.885	0.783	0.783	0.051	414
Regressão Geral (NDVI e EVI)	0.935	0.874	0.874	0.040	2070
*Y = EVI Médio e X= NDVI Médio					

O NDVI correlacionado ao EVI justifica-se a análise da dependência espacial para melhor entendimento do padrão de ocorrência dessas variáveis no espaço e no tempo. Ressalta-se que uma imagem do mesmo sensor em outra data pode influenciar com resultados diferentes da análise.

Nos mapas de distribuição espacial obtidos observa-se que o padrão de distribuição espacial do NDVI difere entre as fisionomias de pastagem (Figura 10, Quadro 2). As áreas de solo exposto ocasionam a perda da qualidade produtiva do solo, que vem sendo construído a décadas e causam processos de degradação do meio, muitas vezes, irreversíveis (Pacheco et al., 2018).

A degradação das áreas de pastagem ocorre devido ao sistema de produção animal em pecuária extensiva sem o manejo adequado causando prejuízos econômicos e ambientais (Pereira et al., 2018; Weber et al., 2018; Eddy et al., 2017). Ao confrontar os níveis de degradação entre PI, PIC e SE, com dados obtidos nos tratamentos PS e MN, verifica-se que as áreas classificadas como pastagem fortemente degradada (SE) correspondem às áreas que apresentam solo exposto, corroborando com os dados de Andrade et al. (2013); Tepanosyan et al. (2017); Valle Junior et al. (2019); Moreira et al., (2020).

Na área de estudo, os resultados obtidos são coerentes com a verdade de campo. No entanto, nas áreas identificadas como pastagens de degradação moderada (PI) não são bem definidas por meio da reflectância, o que pode estar relacionada à infestação por plantas invasoras em detrimento à reflectância das áreas com cupim (PIC)

A metodologia aplicada neste estudo mostrou-se eficiente na identificação das áreas mais críticas de degradação de pastagens, as quais têm mais urgência de serem recuperadas. O manejo de pastagem deve ser realizado no intuito de obter o aproveitamento mais eficiente do potencial da forrageira. Desta forma para que as análises de sensoriamento remoto sejam mais eficientes, é importante analisar as pastagens durante o período chuvoso. No período da seca, em função da senescência das pastagens tropicais, devido à falta de chuva e fotoperíodo curto, não é possível detectar os níveis de degradação com uso de NDVI ou EVI. Entretanto, é necessário potencializar os ganhos por meio de práticas de manejo nas áreas degradadas (Eddy et al., 2017; Calegario et al., 2019).

O correto manejo das pastagens visa criar uma condição de alta produção de forragem que trará como resultado um melhor desempenho animal, gerando maiores produções tanto de @/ha como de kg de leite. Relacionando os fatores fisiológicos da planta com a resposta espectral das áreas de pastagem, Fern et al. (2018) indicam que a porcentagem explicada da resposta espectral NDVI para os anos estudados foi satisfatória, haja vista a ausência dos demais atributos modelos podem explicar outras variáveis relacionadas ao clima e ao solo.

Imagens de sensores remotos com diferentes resoluções espaciais, radiométricas e temporais, podem propiciar constatação de correlação semelhante conforme apresentado neste trabalho. Entretanto, trabalhos relacionados à correlação desses índices de vegetação com fatores fisiológicos, edáficos e de clima ainda são escassos.

Com o avanço da tecnologia para análise de índices de vegetação para detectar a maturidade da planta e a qualidade do solo em áreas de pastagem (Lopes et al., 2020), pode-se determinar o momento que inicia o decréscimo do nível de proteína, o aumento da quantidade de fibra e a redução da digestibilidade. Tanto a altura de entrada como a altura de saída, bem como a altura de manutenção, influenciam no bom manejo.

Os valores avaliados apresentaram correlação com o NDVI demonstrado a eficácia na utilização de imagens de satélites para análise de pastagens na análise da correlação conforme metodologia apresentada no trabalho. As técnicas de sensoriamento remoto foram utilizadas para o monitoramento dos estágios de degradação das pastagens para definir critérios para a avaliação do estágio de degradação. Segundo Brito et al. (2018), este processo é difícil e completo devido a diversidade das espécies em relação das características morfológicas e dos ecossistemas em que são cultivadas (Kichel et al., 2012; Kichel et al., 1999).

Os índices de vegetação são eficientes para diferenciar o grau de degradação/deterioração da pastagem tropicais e a reflectância de uma área de pastagem saudável difere da mata somente quando é utilizado o NDVI. Não é recomendado o uso do EVI para essa diferenciação. As áreas de florestas são importantes por vários fatores (BRASIL, 2009; 2010). Em uma área de pastagem é importante ter algumas superfícies de áreas que contenham diversidade de espécies arbóreas. Nestas áreas os recursos hídricos são armazenados, tendo em vista que as águas das chuvas são interceptadas e armazenadas pelo processo de infiltração, reduzindo o risco de erosão e aumentando a capacidade de infiltração da água no solo tornando o ecossistema mais poroso e estável.

A implantação de pastagens modifica as condições químicas, físicas e biológicas do solo. Entretanto, é necessário detectar as áreas de florestas nas

extensões de pastagem para verificar o estado da mudança de uso do solo de floresta para pastagem (Bayma e Sano, 2015; Benedetti et al., 2013; Correia et al., 2006; Chuvieco e Salas, 1996). Neste caso, não se deve usar o índice de vegetação EVI. O índice não detecta estatisticamente a mudança de uso do solo de floresta para pastagem, provavelmente devido a saturação da reflectância, o que não indica modificação da reflectância quando a superfície apresenta maior abundância e diversidade da flora.

Analisar os índices de vegetação NDVI e EVI para implementar práticas de manejo em pastagens tropicais com as imagens do sensor MODIS possibilita observar a diferença espacial e temporal de índices de vegetação em 5 fisionomias de pastagem. Para detectar áreas de conversão de floresta em pastagem, o que resulta em mudanças na quantidade e qualidade da biomassa aérea, o EVI não foi eficiente. Este fato se deve proveniente da floresta e de fatores que influenciam a taxa de reflectância relacionados à atividade da faixa do azul.

O índice de reflectância NDVI pode ser utilizado como indicador de níveis de degradação das pastagens tropicais. O índice de reflectância EVI não pode ser utilizado como indicador de níveis de degradação das pastagens tropicais. A metodologia aplicada neste estudo mostrou-se eficiente na identificação das áreas mais críticas de degradação de pastagens, as quais têm mais urgência de serem recuperadas. O manejo de pastagem deve ser realizado no intuito de obter o aproveitamento mais eficiente do potencial da forrageira.

Os índices de vegetação são eficientes para diferenciar o grau de degradação/deterioração da pastagem tropicais e a reflectância de uma área de pastagem saudável difere da mata somente quando é utilizado o NDVI. No entanto, nas áreas identificadas como pastagens de degradação moderada (PI) não são bem definidas por meio da reflectância, o que pode estar relacionada à infestação por plantas invasoras em detrimento à reflectância das áreas com cupim (PIC).

Analisar os índices de vegetação NDVI e EVI para implementar práticas de manejo em pastagens tropicais com as imagens do sensor MODIS possibilita observar a diferença espacial e temporal de índices de vegetação em 5 fisionomias de pastagem.

A imagem do sensor MODIS foi eficiente para determinar a diferença espacial e temporal de índices de vegetação, para auxiliar os gestores na tomada de decisões sobre o manejo de pastagem tropical a partir da análise do dossel e de áreas degradadas, e para elaborar diretrizes para o adequado planejamento e gestão do uso da terra.

Além do sensor MODIS, foi utilizado o programa SATVeg, deve discutir como ele contribuiu para seu estudo e como ele pode ser utilizado, para a gestão e recuperação das pastagens degradadas do Brasil.

## 6 CONCLUSÃO

Para detectar áreas de conversão de floresta em pastagem, o que resulta em mudanças na quantidade e qualidade da biomassa aérea, o EVI não foi eficiente.

Os índices de vegetação NDVI e EVI foram estatisticamente significativos na diferenciação entre as áreas de pastagem tropical. Os índices de vegetação apresentam correlação linear na área de estudo para as pastagens.

O índice de reflectância NDVI pode ser utilizado como indicador de níveis de degradação das pastagens tropicais. O índice de reflectância EVI não pode ser utilizado como indicador de níveis de degradação das pastagens tropicais.

O uso de imagens do sensor MODIS é eficiente para determinar a diferença espacial e temporal de índices de vegetação para o manejo de pastagem cultivada em ambientes tropicais. As imagens do MODIS da data estudada em relação ao NDVI e EVI apresentam boa aplicação para detectar as áreas degradadas nas pastagens tropicais.

## 7 REFERÊNCIAS

AGUIAR, D. A.; ADAMI, M.; SILVA, W. F.; RUDORFF, B. F. T.; MELLO, M. P.; DA SILVA, J. D. S. V. MODIS time series to assess pasture land. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2010 IEEE International. IEEE, 2010. p. 2123-2126.

ALLEN, V.G.; BATELLO, C.; BERRETTA, E.J.; HODGSON, J.; KOTHMANN, M.; LI, X.; MCIVOR, J.; MINE, J.; MORRIS, C.; PEETERS, A.; Sanderson,. An international terminology for grazing lands and grazing animals. **Grass and Forage Science**, v.66, p.2-28, 2011.

ALMEIDA, A. Q. D., SILVA, G. F. D., PEZZOPANE, J. E. M., & RIBEIRO, C. A. D. Enhanced Vegetation Index (EVI) na análise da dinâmica da vegetação da Reserva Biológica de Sooretama, ES. **Revista Árvore**, v. 32, n. 6, p. 1099-1107, 2008.

ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O. D. **Sensor MODIS: uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE. 2003.

ANDRADE, R. G.; RODRIGUES, C. A. G.; SANCHES, I.; TORRESAN, F.; QUARTAROLI, C. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. **Engenharia na Agricultura**, v. 21, n. 3, p. 234-243, 2013.

ANDRADE, R. G.; DE CASTRO TEIXEIRA, A. H.; LEIVAS, J. F.; DA SILVA, G. B. S.; NOGUEIRA, S. F.; DE CASTRO VICTORIA, D.; BOLFE, É. L. Indicativo de pastagens plantadas em processo de degradação no bioma Cerrado. In: **Proc. Brazilian Symposium on Remote Sensing**. 2015. p. 1585-1592.

ANJOS, V. S.; SANO, E. E.; BEZERRA, H. D. S.; ROSA, R. Caracterização espectral-temporal de pastagens do triângulo mineiro utilizando dados modis evi2 (2000-2010). **Sociedade & Natureza**, v. 25, n. 1, p. 205-215, 2013.

BALLAYAN, D. Soil degradation. Food and Agriculture Organization, Rome, 2000.

BARKER, J.L.; HARDEN, M.K.; ANUTA, E.A.; SMID, J. E HOUGHT, D. **MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization**. Washington: NASA, Oct, 1992, 84p.

BAYMA, A. P.; SANO, E. E. Time series of vegetation indices (NDVI and EVI) from MODIS for detecting deforestation in the Cerrado biome. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 4, p. 797-813, 2015.

BENEDETTI, A. C. P.; LIPPERT, D. B.; PEREIRA, R. S.; ALMEIDA, C. M. D.; CARDOSO, C. D. V.; HENDGES, E. R. Uso do produto MOD13Q1 do sensor Modis para análise temporal e mapeamento das florestas nas Serras do Sudeste e Campanha Meridional do Rio Grande do Sul. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 459-467, 2013.

BRASIL. Leis e Decretos. Decreto nº 7.390, de 9 de dezembro de 2010. Regulamenta os artigos. 6º, 11 e 12 da Lei nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009, que institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Decreto/D7390.htm).

BRASIL. Leis e Decretos. Lei Federal nº 12.187, de 29 de dezembro de 2009. Institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.html](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2009/Lei/L12187.html).

BRITO, J. L. S., ROSA, R., DE OLIVEIRA FERREIRA, V., DE LIMA, E. F., & DA SILVA, M. K. A. Mapeamento e avaliação da qualidade das pastagens cultivadas no triângulo mineiro a partir de imagens oli/landsat-8. **Caminhos de Geografia**, v. 19, n. 67, p. 68-82, 2018.

CALEGARIO, A. T., PEREIRA, L. F., PEREIRA, S. B., DA SILVA, L. N., ARAÚJO, U. L. D., & FERNANDES FILHO, E. I. Mapping and characterization of intensity in land use by pasture using remote sensing. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 352-358, 2019.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO R.F.; KONOPKA, A. E. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.1501-1511, 1994.

CARVALHO, T. B. de; De ZEN, S. A cadeia de Pecuária de Corte no Brasil: evolução e tendências. **Revista iPecege**, v. 3, n. 1, p. 85-99, 2017.

CEPAGRI - CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. Classificação de clima. Disponível em: [http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima\\_muni\\_279.html](http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_279.html). Acesso em 25 out. 2020.

CEZAR, I. V.; QUEIROZ, H. P.; THIAGO, L. R. L. de S.; CASSALES, F. L. G.; COSTA, F. P. **Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate**. Campo Grande, MS; Embrapa Gado de Corte, 2005. 40p.

CHUVIECO, E.; SALAS, J. Mapping the spatial distribution of forest fire danger using GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 10, n. 3, p. 333-345, 1996.

CORREIA, A. H.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V. Avaliação de índices de vegetação MODIS para detecção de desmatamentos na Amazônia. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 1, n. 2, p. 52-64, 2006.

CORSI, M.; PEIXOTO, A. M.; MOURA, J. C. DE; FARIA, E. V. P. DE. Pastagens de alta produtividade. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 8., 1996, Piracicaba - SP, **Anais** do 8º ... Piracicaba: FEALQ, p. 499-512, 1996.

COSTA, B. M. da. Tipos de pastagens, sob o ponto de vista ecológico. [199-]. Disponível em: [http://www.agronline.com.br/agrociencia/pdf/public\\_47.pdf](http://www.agronline.com.br/agrociencia/pdf/public_47.pdf). Acesso em 15 out. 2020.

CUI, L.; SHI, J. Evaluation and comparison of growing season metrics in arid and semi-arid areas of northern China under climate change. **Ecological Indicators**, v. 121, p. 107055, 2021.

DIAS-FILHO, M. B. Sistemas silvipastoris na recuperação de pastagens tropicais degradadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 35, n. Special Suppl, p. 535-553, 2006.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 4.ed. 2ª impressão correções e revisão. Belém: Ed. do Autor, 2015. 216p.

DORIGO, W. A.; MILLA, R. Z.; DE WIT, A.J.W.; BRAZILE, J.; SINGH, R.; SCHAEPMAN, M.E. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.9, p.165-193, 2007.

DUAN, Cheng et al. Feeding solution: Crop-livestock integration via crop-forage rotation in the southern Tibetan Plateau. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 284, p. 106589, 2019.

EDDY, I. M., GERGEL, S. E., COOPS, N. C., HENEBRY, G. M., LEVINE, J., ZERRIFFI, H., & SHIBKOV, E. Integrating remote sensing and local ecological knowledge to monitor rangeland dynamics. **Ecological Indicators**, v. 82, p. 106-116, 2017.

EPIPHANIO, R. D. V., FORMAGGIO, A. R., RUDORFF, B. F. T., MAEDA, E. E., & LUIZ, A. J. B.. Estimating soybean crop areas using spectral-temporal surfaces derived

from MODIS images in Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p. 72-80, 2010.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura é uma das agências das Nações Unidas). ITPS. Status of the world's soil resources (SWSR) – main report. **Food and agriculture organization of the United Nations and intergovernmental technical panel on soils, Rome, Italy**, v. 650, 2015.

FERN, R. R., FOXLEY, E. A., BRUNO, A., & MORRISON, M. L. Suitability of NDVI and OSAVI as estimators of green biomass and coverage in a semi-arid rangeland. **Ecological Indicators**, v. 94, p. 16-21, 2018.

FERREIRA, D. DE J.; MOURA ZANINE, A. de. Importância da pastagem cultivada na produção da pecuária de corte brasileira (Importance of the pasture cultivated in beef cattle production in. **REDVET**, 2007.

GAO, Q.; LI, Y.; WAN, Y.; LIN, E; SIONG, W.; JIANGCUN, W.; WANG, B.; LI. W. Grassland degradation in northern Tibet base on remote sensing data, **Journal of Geographical Sciences**, v. 16, n. 2, p. 165-173, 2006.

HUETE, A.R. Soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of environment*, v.25, p.89-105, 1988.

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 the Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 195-213, Nov. 2002.

IBGE, 2017. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - Censo Agropecuário (Resultados Preliminares), vol.7. Censo agropec., pp. 1–108. Accessed September 2019). [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro\\_2017\\_resultados\\_preliminares.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3093/agro_2017_resultados_preliminares.pdf).

IBGE, 2019 – Pesquisa da Pecuaria Municipal. 2019. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939#resultado>. Acesso em: 03 jun. 2021.

JENSEN, John R.; EPIPHANIO, José Carlos Neves. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JOHNSEN, Kurt H.; SEILER, John R.; MAJOR, John E. Growth, shoot phenology and physiology of diverse seed sources of black spruce: II. 23-year-old field trees. *Tree Physiology*, v. 16, n. 3, p. 375-380, 1996.

JOHNSON, L. F.; TROUT, T. J. Satellite NDVI assisted monitoring of vegetable crop evapotranspiration in California's San Joaquin valley. *Remote Sensing*, v.4, p.439-455, 2012.

JUNGES, AMANDA HEEMANN, BREMM, CAROLINA, FONTANA, DENISE CYBIS, OLIVEIRA, CARLOS ALBERTO OLIVEIRA DE, SCHAPARINI, LAURA PIGATTO, & CARVALHO, PAULO CÉSAR DE FACCIO. Temporal profiles of vegetation indices for characterizing grazing intensity on natural grasslands in Pampa biome. **Sci. agric.** (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 73, n. 4, p. 332-337, 2016.

JUSTICE, C. O. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v.36, n.4, p.1228-1249, 1998.

KARIYEVA, J.; LEEUWEN, W. J. D. van. Environmental drivers of NDVI- Based vegetation phenology in Central Asia. *Remote Sensing*, v.3, p.203-246, 2011.

KICHEL, A. N.; MIRANDA, C. H. B.; ZIMMER, A. H. Degradação de pastagens e produção de bovinos de corte com a integração agricultura x pecuária. In: SIMPOSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 1., 1999, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1999. p. 201-234.

KICHEL, A. N.; COSTA, J. A. A.; ALMEIDA, R. G. Vantagens da recuperação e renovação de pastagens degradadas com a utilização de sistemas integrados de produção agropecuária. **Revista Agro & Negócios**, v.11, n.14, p.48-50, 2012.

LAPIG – Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás (UFG) em parceria com a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE). Situação da qualidade das Pastagens no Brasil. **Atlas Digital das Pastagens Brasileira**. Online. <https://pastagem.org/atlas/map>, Acesso em 16. jan., 2021.

LI, Y., CAO, Z., LONG, H., LIU, Y., & LI, W. Dynamic analysis of ecological environment combined with land cover and NDVI changes and implications for sustainable urban–rural development: The case of Mu Us Sandy Land, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 697-715, 2017.

LIMA, C.E.S. de; GOMES, D.D.M.; LIMA, D. R. M. de. DEUS, R. A. da S. G. de.; COSTA, S. O. de S. Análise multitemporal da cobertura vegetal do município de Garanhuns - PE, através dos dados de NDVI. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

LOPES, V. S., CARDOSO, I. M., FERNANDES, O. R., ROCHA, G. C., SIMAS, F. N. B., DE MELO MOURA, W., ... & DA LUZ, J. M. R. The establishment of a secondary

forest in a degraded pasture to improve hydraulic properties of the soil. **Soil and Tillage Research**, v. 198, p. 104538, 2020.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do "índice de vegetação por diferença normalizada/ndvi" utilizando krigagem indicativa. **Holos Environment**, v. 4, n.1, p, 38-55, 2004.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Nota nº 08-2021/CGAPI/DCI/SPA/MAPA - 09 de abril de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/valor-da-producao-agropecuaria-de-2021-e-12-4-maior-que-ano-passado/Nota202108VBP11.pdf>

MACEDO, M. C. M.; ZIMMER, A. H. Sistemas pasto-lavoura e seus efeitos na produtividade agropecuária. In: FAVORETTO, V.; RODRIGUES, L.R.A.; REIS, R.A. (Eds.) Simpósio Sobre Ecossistemas das Pastagens, 2, 1993. Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP: UNESP, 1993, p.216-245.

MACEDO, M. C. M. Pastagem no ecossistema Cerrados: pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSSISTEMAS BRASILEIROS, I, 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p. 28-62.

MACEDO, M. C. M.; KICHEL, A. N.; ZIMMER, A. H. **Degradação e alternativas de recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande, MS: EMBRAPACNPGC, 2000. 4 p. (Comunicado Técnico, 62).

MACEDO, M. C. M. Integração lavoura e pecuária: alternativa para sustentabilidade da produção animal. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 18., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 257-283.

MACHADO, N. G., BIUDES, M. S., ANGELINI, L. P., QUERINO, C. A. S., & DA SILVA ANGELINI, P. C. B. Impact of changes in surface cover on energy balance in a tropical city by remote sensing: A study case in Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 20, p. 100373, 2020.

MASHAME, G; AKINYEMI, F. Towards a remote sensing based assessment of land susceptibility to degradation: Examining seasonal variation in land use-land cover for modelling land degradation in a semi-arid context. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 3, p. 137, 2016.

MENESES, P. R., & ALMEIDA, T. D. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UNB/CNPq, 2012.

MIURA, T.; HUETE, A. R.; YOSHIOKA, H.; HOLBEN, B. N. An error and sensitivity analysis of atmospheric resistant vegetation indices derived from dark target-based atmospheric correction. *Remote Sensing of Environment*, v.78, p.284-298, 2001.

MIURA, T.; YOSHIOKA, H.; FUJIWARA, K.; YAMAMOTO, H. Inter-comparison of ASTER and MODIS surface reflectance and vegetation index products for synergistic applications to natural resource monitoring. *Sensors*, v. 8, p. 2480-2499, 2008.

MORAES, Y. J. B. **Forrageiras. Conceitos, formação e manejo**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 1995. 215 p.

MOREIRA, L.; ASSAD, E. D. **Segmentação e classificação supervisionada para identificar pastagens degradadas**. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 6, 2000.

MOREIRA, S. de F., de Oliveira Santos, S. D., & Júnior, A. P. Análise quantitativa e qualitativa de um solo degradado pela pecuária. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p. 47698-47715, 2020.

NASA - NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. Modis home page. Disponível em:<[modis.gsfc.nasa.gov/](http://modis.gsfc.nasa.gov/)>. Acesso em 20 out. 2019.

NASCIMENTO JUNIOR, D. do; QUEIROZ, D. S.; SANTOS, M. V. F. dos. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 11, 1994, Piracicaba. **Anais...**Piracicaba, FEALQ, 1994.

NASCIMENTO, M. C.; RIVA, R. D. D.; CHAGAS, C. da S.; OLIVEIRA, H. de; DIAS, L. E.; FERNANDES FILHO, E. I.; SOARES, V. P. Uso de imagens do sensor ASTER na identificação de níveis de degradação em pastagens. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 1, p. 196–202, 2006.

OECD/FAO (2018), OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027, OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. [https://doi.org/10.1787/agr\\_outlook-2018-en](https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2018-en)

Orchard, C. M., Lorentz, S. A., Jewitt, G. P. W., & Chaplot, V. A. M. Spatial and temporal variations of overland flow during rainfall events and in relation to catchment conditions. *Hydrological Processes*, v. 27, n. 16, p. 2325-2338, 2013.

PACHECO, F. A. L., FERNANDES, L. F. S., JUNIOR, R. F. V., VALERA, C. A., & PISSARRA, T. C. T. Land degradation: Multiple environmental consequences and routes to neutrality. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, v. 5, p. 79-86, 2018.

PEDREIRA, C. G., SILVA, L. S.; ALONSO, M. P. Use of grazed pastures in the brazilian livestock industry: a brief overview. **Forages Warm Clim**, v. 7, 2015.

PEREIRA, L. F., FERREIRA, C. F. C., & GUIMARÃES, R. M. F. Manejo, qualidade e dinâmica da degradação de pastagens na Mata Atlântica de Minas Gerais-Brasil. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 4, p. 370-379, 2018.

PINTO, D. G., VICARI, M. B., FONTANA, D. C., DALMAGO, G. A., DA CUNHA, G. R., DE GOUVÊA, J. A., ... & SANTI, A. Índices de vegetação NDVI e EVI, IAF e FPAR da canola a partir de imagens do satélite Modis. In: Embrapa Trigo-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE CANOLA, 1., 2014, Passo Fundo. Anais... Brasília, DF: Embrapa, 2014.

PONZONI, F. J. Comportamento espectral da vegetação. In. Sensoriamento Remoto - Reflectância dos alvos naturais. Brasília: UnB, EMBRAPA, 2001. p.157-199.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: A. Silva Vieira Ed., 2007. 127 p.

PREY, L; HU, Y; SCHMIDHALTER, U. High-throughput field phenotyping traits of grain yield formation and nitrogen use efficiency: optimizing the selection of vegetation indices and growth stages. **Frontiers in plant science**, v. 10, p. 1672, 2020.

RITCHIE, H.; ROSER, M. **Land Use**. Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: "<https://ourworldindata.org/land-use>" [Online Resource]. 2019

ROUSE, J. W.; HAAS, J. A.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Earth Resources. Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington D.C., 1973. Proceedings... Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, v. 1, p.309-317. (NASA SP-351).

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation. Greenbelt: National Aeronautics and Space Administration, 1974, 371 p. (Nasa/GSFC TYPE III. Final Report).

RUDORFF, C. M.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; SUGAWARA, L. M.; VIEIRA, C. A. O. Superfícies de resposta espectro-temporal de imagens do sensor MODIS para classificação de área de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, v.37, p.118-125, 2007.

SANTANA, O. A., CARVALHO JÚNIOR, O. A. D., PIMENTEL, C. M. M., GOMES, R. A. T., & OLIVEIRA, S. N.. Modelagem de espectros temporais NDVI-MODIS, no período de 2000 a 2008, na bacia do rio Paracatu, **Brasil.Revista Brasileira de Geofísica**, v. 28, n. 1, p. 47-60, 2010.

SANTANA, S. H. C. de; GALVÍNIO, J. D. Aplicação do SARVI em fragmentos de mata no município de Recife-PE como alternativa de análises ambientais em áreas urbanas. In: Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2013, Foz do Iguaçu. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 1121-1128.

SANTIAGO, M. M.; SILVA, H. A.; GALVINCIO, J. D.; OLIVEIRA, T. H. Análise da cobertura vegetal através dos índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) no entorno da Barragem do Botafogo - PE. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, v. 14, p. 3003-3009, 2009.

SILVA, S. C. da; NASCIMENTO JÚNIOR, D. do; SBRISSIA, A. F.; PEREIRA, L. E. T. Dinâmica de população de plantas forrageiras em pastagens. **IV Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem**, v. 4, p. 75-100, 2008.

SILVA, O. D. da. Processamento digital de imagens NDVI, para classificação das fitofisionomias do bioma Cerrado. In: Simposio Brasileiro de sensoriamento Remoto, 17, 2015, João Pessoa. **Anais...**: São José dos Campos: INPE, 2015. disponível em <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/sumario.htm>. Acesso em 30 nov. 2016.

SILVA, G. M. A. DA, FIEDLER, N. C., SILVA, E. C., & RAMALHO, A. H. C. Ocupação da Terra e Diagnóstico de Degradação no Sul do Espírito Santo. **Agropecuária Científica No Semiárido**, v. 16, n. 1, p. 45-51, 2020.

SPAIN, J.M.; GUALDRÓN, R. Degradación y rehabilitación de pasturas. Establecimiento y renovación de pasturas: conceptos, experiencias y enfoque de investigación. Cali: CIAT, p. 269-283, 1991.

TEPANOSYAN, G. H., ASMARYAN, S. G., MURADYAN, V. S., & SAGHATELYAN, A. K. Mapping man-induced soil degradation in Armenia's high mountain pastures through remote sensing methods: a case study. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 8, p. 105-113, 2017.

VALERA, C. F. O.; VALLE JÚNIOR, R. F. do; VALERA, C. A.; RODRIGUES, V. S.; FERNANDES, L. F. S.; PACHECO, F.A.L. The modeling of pasture conservation and of its impact on stream water quality using Partial Least Squares-Path Modeling. **Science of The Total Environment**. 697. 134081. 2019.

VALLE JÚNIOR, R. F. DO, SIQUEIRA, H. E., VALERA, C. A., OLIVEIRA, C. F., FERNANDES, L. F. S., MOURA, J. P., & PACHECO, F. A. L. Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: An application to the Environmental Protection Area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 14, p. 20-33, 2019.

WEBER, D., SCHAEPMAN-STRUB, G., & ECKER, K. Predicting habitat quality of protected dry grasslands using Landsat NDVI phenology. **Ecological Indicators**, v. 91, p. 447-460, 2018.

WEIR J.; HERING, D. Measuring vegetation (NDVI & EVI). NASA Earth Observatory. 2012. <[http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring\\_vegetation\\_3.p](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_3.p)>

Wu, Z., Liu, Y., Han, Y., Zhou, J., Liu, J., & Wu, J. Mapping farmland soil organic carbon density in plains with combined cropping system extracted from NDVI time-series data. **Science of The Total Environment**, v. 754, p. 142120, 2021.

ZEWDIE, W.; CSAPLOVICS, E.; INOSTROZA, L. Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. **Applied Geography**, v. 79, p. 167-178, 2017.

ZHUMANOVA, M., MÖNNIG, C., HERGARTEN, C., DARR, D., & WRAGE-MÖNNIG, N. Assessment of vegetation degradation in mountainous pastures of the Western Tien-Shan, Kyrgyzstan, using eMODIS NDVI. *Ecological indicators*, v. 95, p. 527-543, 2018.

ZIMMER, A. H.; MACEDO, M. C. M; KICHEL, A. N.; ALMEIDA, R. G. **Degradação, recuperação e renovação de pastagens**. Campo Grande, MS: Embrapa Gado de corte, 2012. 46 p. (Embrapa Gado de Corte. Documentos, n. 189).