

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

**DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DE PASTAGEM DEGRADADA E  
CORRELAÇÃO COM A QUALIDADE FÍSICA  
DO SOLO NO MUNICÍPIO  
DE VERÍSSIMO-MG**

**Aline Rombega Tito Rosa**  
Bióloga

**2016**

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

**DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DE PASTAGEM DEGRADADA E  
CORRELAÇÃO COM A QUALIDADE FÍSICA  
DO SOLO NO MUNICÍPIO  
DE VERÍSSIMO-MG**

**Aline Rombega Tito Rosa**

**Orientador: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho**

**Coorientador: Prof. Dr. Renato Farias do Valle Jr**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

**2016**

Rosa, Aline Rombega Tito

R788d Diagnóstico de áreas de pastagem degradada e correlação com a  
qualidade física do solo no município de Veríssimo-MG / Aline  
Rombega Tito Rosa. -- Jaboticabal, 2016  
x, 57 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016

Orientador: Marcílio Vieira Martins Filho

Coorientador: Renato Farias do Valle Junior

Banca examinadora: João Antonio Galbiatti, Vera Lucia Abdala

Bibliografia

1. Degradação. 2. NDVI. 3. Sensoriamento Remoto. I. Título. II.  
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.41:528.8

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

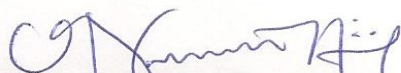
**TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DE PASTAGEM DEGRADADA E CORRELAÇÃO COM A QUALIDADE FÍSICA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE VERÍSSIMO-MG**

**AUTORA: ALINE ROMBEGA TITO ROSA**

**ORIENTADOR: MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO**

**CO-ORIENTADOR: RENATO FARIAS DO VALLE JUNIOR**

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



Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Prof. Dr. JOÃO ANTONIO GALBIATTI  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



Profa. Dra. VERA LUCIA ABDALA  
Laboratório de Geoprocessamento / IFTM - Uberaba/MG

Jaboticabal, 29 de julho de 2016

## **DADOS CURRICULARES DA AUTORA**

**ALINE ROMBEGA TITO ROSA** – Bióloga, filha de José Donizeti Tito e Neide Rombega Tito, nasceu em Bebedouro, interior do Estado de São Paulo, no dia 05 de janeiro de 1981. Coursou o Ensino Fundamental na Escola Estadual Alzira de Freitas Casseb e Ensino Médio na Escola Estadual Prof<sup>a</sup>. Nena Giannasi Buck, ambas na cidade de Monte Azul Paulista-SP. Em Fevereiro de 2010, ingressou no Curso de Graduação em Ciências Biológicas, pelo Centro Universitário de Bebedouro (UNIFAFIBE), Bebedouro-SP, e em Dezembro de 2013, obteve o título de Bacharelado e Licenciatura em Ciências Biológicas. Realizou estágio em pesquisa no Centro de Estudo e Pesquisa do Desenvolvimento Regional/ CEPeD-UNIFAFIBE, com desenvolvimento de projeto de pesquisa científica em parceria com Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) – UNESP – Campus de Jaboticabal, SP. Atuou como Professora Auxiliar, disciplina de Matemática, pela Secretaria de Estado da Educação (SP), regional de Jaboticabal-SP, no período de abril de 2013 a janeiro de 2014. Em Março de 2015, ingressou no programa de especialização em Saneamento Ambiental, pelo Instituto Federal do Triângulo Mineiro, campus Uberaba-MG, com previsão de obtenção do título em novembro de 2016. Em agosto de 2015, ingressou no curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) da Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) – Campus de Jaboticabal, SP.

*"A persistência é o caminho do êxito."*

*Charles Chaplin*

*Dedico aos meus pais, José Donizeti Tito e Neide Rombega Tito,*

*pela perseverança e amor.*

*Dedico*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por estar permitindo concretizar esta etapa da minha vida.

À minha mãe e meu pai, pela vida, pelo apoio e pelas palavras de conforto e sabedoria que me sustentaram em meio às tempestades .

O meu agradecimento mais profundo, ao meu companheiro Rodrigo, por todos os ensinamentos, ajuda e por incentivar-me a superar meus limites.

À minha filha, Cecília, essencial em minha vida, por toda ternura, amor e compreensão.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias pela excelência e pela estrutura oferecida para a realização do curso de Mestrado.

Ao Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho, pela oportunidade de realização deste trabalho, pela brilhante orientação oferecida e, principalmente pelo exemplo de dedicação, sabedoria e profissionalismo.

Ao Prof. Dr. Renato Farias do Valle Júnior pelo exemplo de luta, perseverança e dedicação, mas, essencialmente, pela amizade e companheirismo.

Ao Prof. Dr. João Antonio Galbiatti, pela amizade e pelos valiosos conselhos.

Ao Servidor Gibson Caetano Padua, secretário do Departamento de Solos e Adubos, pelas orientações e auxílios.

Às colegas Ludmila Freitas e Livia Arantes Camargo pelas contribuições fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

A todos os professores que contribuíram para a formação durante o curso de mestrado.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

**MUITO OBRIGADA!**



## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xiii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
2.1 Cartografia .....	4
2.2 Sensoriamento Remoto .....	4
2.2.1 Satélite LANDSAT .....	6
2.2.1 Sensor MODIS.....	8
2.3 Comportamento Espectral .....	9
2.3.1 Propriedades Espectrais .....	10
2.3.1.1 Comportamento Espectral dos Solos.....	12
2.3.1.2 Comportamento Espectral das Culturas Agrícolas.....	15
2.4 Qualidade do Solo .....	15
2.4.1 Atributos Físicos do Solo .....	17
<b>3 OBJETIVOS.....</b>	<b>18</b>
3.1 Objetivo Geral .....	18
3.2 Objetivos Específicos.....	18
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>19</b>
4.1 Área de Estudo .....	19
4.1.1 Características da Área de Estudo .....	19
4.2 Determinação NDVIs .....	20
4.3 Processamento Digital .....	21
4.4 Qualidade dos Solos.....	22
4.4.1 Análises Físicas .....	22
4.4.1.1 Densidade do Solo.....	23
4.4.1.2 Microporosidade.....	23
4.4.1.3 Porosidade Total e Macroporosidade.....	23

4.4.1.4	Textura do Solo.....	23
4.5	Análise dos Dados .....	24
4.5.1	Análises dos NDVIs .....	24
4.5.2	Análises Qualidade dos Solos .....	24
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>26</b>
5.1	Comportamento do Pixel .....	26
5.2	Percentual de Perda Amostral .....	33
5.3	NDVI das Fisionomias de Pastagens.....	35
5.4	Resultados dos Atributos Físicos do Solo.....	36
5.4.1	Dados da Densidade dos Solos.....	37
5.4.2	Dados das Análises de Porosidades e Umidade dos Solos.....	39
5.4.3	Dados da Textura do Solo .....	44
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## DIAGNÓSTICO DE ÁREAS DE PASTAGEM DEGRADADA E CORRELAÇÃO COM A QUALIDADE FÍSICA DO SOLO NO MUNICÍPIO DE VERÍSSIMO-MG

**RESUMO** - As pastagens no Brasil ocupam mais de 172 milhões de hectares, no qual 50% deste total já se encontram em alguma fase de degradação, com perda de matéria orgânica do solo e conseqüente elevação das emissões de carbono para a atmosfera. Neste sentido, informações quantitativas dos níveis de degradação das pastagens e do ambiente podem apoiar políticas de gestão ambiental. Este estudo teve o intuito de avaliar a aplicabilidade e eficácia do uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento no diagnóstico de áreas de pastagens degradadas e sua correlação com a qualidade física do solo, na bacia do rio Uberaba, Veríssimo – MG. Os dados de sensoriamento remoto foram analisados utilizando três modelos matemáticos de regressão, sendo dois não lineares com distribuição ondulatória e um linear. O modelo de regressão cúbica, a partir das séries temporais do *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), descreveu melhor o comportamento médio do pixel ao longo do ano, elucidando em média 75,7% dos dados válidos, apresentando inexistência de perda amostral em decorrência dos efeitos atmosféricos; principalmente presença de nuvens. Em todas as áreas de pastagens avaliadas foi observada densidade do solo acima dos valores críticos descritos na literatura, o que confere condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, à infiltração e ao transporte de água, bem como às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera. Ainda, foi evidenciada redução da proporção de macro microporos, comprometendo a adequada aeração, permeabilidade e armazenamento de água. Portanto, os resultados apontam que o método de diagnóstico das áreas de pastagens a partir de séries temporais do MODIS MOD13Q1 foi mais adequado na determinação do padrão de comportamento do pixel ao longo do ano; as áreas de pastagens do município de Veríssimo-MG apresentaram padrões espectrais distintos, permitindo a classificação e correlação com os níveis de degradação; as análises dos atributos físicos revelam que todas as áreas avaliadas apresentam sinais de degradação, inclusive as áreas com presença de pasto sadio; os solos das diferentes fisionomias de pastagens apresentaram intenso processo de compactação, com redução da porosidade, decorrente principalmente do efeito do pisoteio do gado.

Palavras-Chave: Degradação, NDVI, Sensoriamento Remoto.

## PASTURE AREAS DEGRADED DIAGNOSIS AND CORRELATION WITH QUALITY PHYSICAL OF SOIL QUALITY IN VERÍSSIMO-MG

**ABSTRACT** – Pastures in Brazil occupy more than 172 million hectares, in which 50% are already in some stage of degradation with loss of soil organic matter and the consequent rise in carbon emissions to the atmosphere. Thus, quantitative information of the degradation levels of pastures and the environment can support environmental management policies. This study aimed to evaluate the applicability and effectiveness of remote sensing and GIS use in the diagnosis of degraded pastures areas and its correlation with the soil physical quality in the basin of Uberaba river, Veríssimo - MG. The remote sensing data were analyzed using three mathematical regression models, two nonlinear wave with a linear distribution and linear .The cubic regression model, from temporal series of *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), best described the average behavior of the pixel throughout the year, elucidating on average 75.7% of the valid data, showing absence of sample loss due to atmospheric effects; mainly the presence of clouds. In all areas evaluated pasture was observed soil density above the critical values reported in the literature, which gives restrictive conditions for growth and root development, infiltration and water transport and gas exchange between soil and atmosphere. Furthermore, there was a decrease in the proportion of macro micropores, compromising the proper aeration, water permeability and storage. Therefore, the results indicate that the diagnostic method of pasturelands from MODIS MOD13Q1 the time series was more appropriate in determining the pixel pattern of behavior throughout the year; the areas of Veríssimo-MG pastures showed distinct spectral patterns, allowing classification and correlation with the levels of degradation; the analysis of physical attributes reveal that all evaluated areas show signs of degradation, including areas with presence of healthy pasture; the soils of different pastures physiognomies showed intense process of compaction, reducing the porosity, mainly due to the effect of cattle trampling.

Keywords: Degradation, NDVI, Remote Sensing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Representação de uma Onda Eletromagnética. Fonte: MOREIRA (2001) ..5	5
Figura 2: Captação de Imagem por Sensoriamento Remoto (Interação Sol - Terra – Satélite). Fonte: FLORENZANO (2002) .....6	6
Figura 3: Comportamento espectral típico de uma folha verde sadia. Fonte: KUMAR (1972)..... 10	10
Figura 4: Comportamento da reflectância de acordo com característica tiomórfica dos solos. Fonte: MOREIRA (2001)..... 13	13
Figura 5: Divisão da bacia do rio Uberaba, de acordo com o território dos municípios. Fonte: CANDIDO, 2008..... 19	19
Figura 6: Anéis Volumétricos (A) Trado tipo holândes (B). .....22	22
Figura 7: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pasto sadio (PS), dos dados do MODIS-NDVI, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%. .....27	27
Figura 8: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pasto sadio (PS), dos dados do Landsat-8, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%. .....28	28
Figura 9: Pasto Sadio, município de Veríssimo-MG.....28	28
Figura 10: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras (PI), dos dados do MODIS-NDVI, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%. .....29	29
Figura 11: Pasto com presença de invasoras (PI), município de Veríssimo-MG.....29	29
Figura 12: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras (PI), dos dados do Landsat-8, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%. .....30	30
Figura 13: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras e cupim (PIC), dos dados do MODIS-NDVI, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%. .....30	30
Figura 14: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras e cupim (PIC), dos dados do Landsat-8, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%. .....31	31
Figura 15: Pasto com presença de invasoras e cupim (PIC), município de Veríssimo-MG. ....31	31

Figura 16: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras e erosão (PIE), dos dados do MODIS-NDVI, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%. .....	32
Figura 17: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras e erosão (PIE), dos dados do Landsat-8, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%. .....	32
Figura 18: Pasto com presença de invasoras e erosão (PIE), município de Veríssimo-MG. ....	33
Figura 19: Comparação da média do percentual de perda amostral anual de séries temporais geradas pelo MODIS-NDVI e Landsat-8.....	34
Figura 20: Comportamento do pixel nas diferentes fisionomias de pastagens.....	35
Figura 21: Densidade aparente das diferentes fisionomias de pastagens. ....	38
Figura 22: Microporosidade dos solos das diferentes fisionomias de pastagens .....	40
Figura 23: Porosidade total dos solos das diferentes fisionomias de pastagens .....	41
Figura 24: Macroporosidade dos solos das diferentes fisionomias de pastagens.....	41
Figura 25: Umidade dos solos das diferentes fisionomias de pastagens .....	42
Figura 26: Areia Total (AT) e das frações de Areia Fina (AF) e Média (AM) dos solos das diferentes fisionomias de pastagens .....	44
Figura 27: Percentual de Areia Total (AT) do solos das diferentes fisionomias de pastagens.....	45
Figura 28: Frações de Areia Grossa (AG), Muito Grossa (AMG) e Muito Fina (AMF) dos solos das diferentes fisionomias de pastagens .....	46
Figura 29: Percentual de argila dos solos das diferentes fisionomias de pastagens.	47
Figura 30: Percentual de silte dos solos das diferentes fisionomias de pastagens ...	47

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Bandas Espectrais do Satélite Landsat-8.....	7
Tabela 2: Bandas Espectrais do Sensor MODIS.....	8
Tabela 3: Análise estatística do conjunto amostral das séries temporais do MODIS-NDVI e Landsat-8.....	26
Tabela 4: Comparação do coeficiente de ajuste das curvas [ $R^2$ (aj)] das análises de Regressão Cúbica.....	26
Tabela 5: Comportamento do Pixel, NDVI e Equações de Regressão Cúbica das diferentes fisionomias de Pastagens.....	35
Tabela 6: Característica geológica e tipo de solos dos polígonos selecionados para análise comparativa das diferentes fisionomias de pastagens.....	37
Tabela 7: Dados dos valores médios de porosidades e umidade dos solos das diferentes fisionomias de pastagens.....	40
Tabela 8: Proporção de macro:microporos das diferentes fisionomias de pastagens.....	43
Tabela 9: Valores médios das frações de areia dos solos das diferentes fisionomias de pastagens.....	44
Tabela 10: Valores médios do percentual de Argila e Silte dos solos das diferentes fisionomias de pastagens.....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Aw	-	Clima Tropical com Chuvas de Verão
IC	-	Intervalo de Confiança
M	-	Magnético
TFSA	-	Terra Fina Seca ao Ar
AVHRR	-	<i>Advanced Very High Resolution Radiometer Thematic Mapper</i>
AF	-	Areia Fina
AG	-	Areia Grossa
AM	-	Areia Média
AMF	-	Areia Muito Fina
AMG	-	Areia Muito Grossa
AT	-	Areia Total
w	-	Chuvas de Verão
A	-	Clima Tropical
CERES	-	Clouds and the Earth`s Radiant System
R <sup>2</sup>	-	Coeficiente de Determinação
R <sup>2</sup> <sub>(aj)</sub> / R-sq <sub>(aj)</sub>	-	Coeficiente de Determinação Ajustado
S / DP	-	Desvio Padrão
EOS-	-	<i>Earth Observing System</i>
E	-	Elétrico
ETM+	-	<i>Enhanced Thematic Mapper Plus</i>
EVI	-	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
h	-	Horas
NDVI	-	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
IVM	-	Infravermelho Médio
IVP	-	Infravermelho Próximo
IVT	-	Infravermelho Termal
MO	-	Matéria Orgânica



MODIS-	- <i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MISR	- <i>Multiangl e Imaging Spectroradiometer</i>
NASA	- <i>National Aeronautics and Space Administration</i>
W	- Oeste
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	- Óxidos de Ferro
PI	- Pastagem com Presença de Plantas Invasoras
PIC	- Pastagem com Presença de Plantas Invasoras e Cupim
PIE	- Pastagem com Presença de Plantas Invasoras e Erosão
OS	- Pasto Sadio
Os	- Percentual de Saturação em Volume
V%	- Percentual de Variação
Pt	- Porosidade Total
REM	- Radiação Eletromagnética
R	- Reflectância na Faixa do Vermelho
SLC	- <i>Scan Line Correction</i>
OLI	- <i>Sensor Operacional Land Imager</i>
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
S	- Sul
TIRS	- <i>Thermal Infrared Sensor</i>
UTM	- Universal Transversa de Mercator
NIR	- Valor do Reflectância no Vermelho Próximo
V	- Visível
WSG	- World Geodetic System

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\theta$	-	Ângulo Teta
$\uparrow$	-	Aumento
$\text{cm}^3$	-	Centímetros cúbicos
Sr	-	Esterradiano ( Ângulo Sólido )
G	-	Gramas
$^{\circ}\text{C}$	-	Grau Celsius (medida de temperatura)
$^{\circ}$	-	Graus
Khz	-	Kilohertz
L	-	Litros
$\text{Mg}^{2+}$	-	Magnésio
MPa	-	Mega Pascal
M	-	Metros
$\mu\text{m}$	-	Micrometros
'	-	Minutos
Mol	-	Mol
$\text{Mol L}^{-1}$	-	Mol por litro
Nm	-	Nanômetros
%	-	Percentual/ percentagem
Km	-	Quilômetros
"	-	Segundos
W	-	Watts

# 1 INTRODUÇÃO

O mapeamento e monitoramento do cultivo de pastagens, em uma única data, não é uma tarefa simples, por causa da sua dinâmica anual e sazonal. Ao longo do tempo, algumas dessas pastagens são substituídas por culturas agrícolas ou substituem a vegetação nativa, que aliados à sazonalidade climática (períodos de seca e chuva) podem apresentar padrões espectrais distintos. Segundo Sano et al. (2000), a recuperação de pastagens degradadas é de difícil implementação devido à falta de informações atualizadas e detalhadas a respeito de sua distribuição espacial.

O sensoriamento remoto, em virtude do seu baixo custo, repetitividade e escala compatível, pode contribuir, em muito, para subsidiar políticas de recuperação de pastagens degradadas, em diferentes regiões (NASCIMENTO et al., 2006). Neste contexto, torna-se pertinente a realização de estudo da aplicabilidade do uso do sensoriamento remoto, com elevada resolução temporal, no diagnóstico de pastagens.

O Sensor *Operational Land Imager* (OLI) do Satélite Landsat-8 foi lançado em 11 de fevereiro de 2013, sendo amplamente utilizado, por fornecer observações globais de longa duração da superfície terrestre, com uma periodicidade de 1 a 2 dias, com resolução espacial de 15 metros no Pancromático e de 30 metros no multiespectral. As imagens são disponibilizadas gratuitamente pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) a cada 16 dias.

As imagens orbitais do Landsat-8 possuem elevada resolução espacial, mas apresenta baixa frequência de geração, com interferência das variações de sazonalidade climática na aquisição das imagens; como a frequente cobertura de nuvens no período chuvoso (ASNER, 2001). Além disso, as estimativas são geralmente defasadas, ou seja, são fornecidas de um a dois dias após a aquisição.

O uso de imagens orbitais do sensor MODIS, permite superar o problema da baixa frequência de geração, por apresentar resolução temporal de aproximadamente dois dias. No entanto, apresenta menor resolução espacial em relação às séries temporais de imagens orbitais do Landsat-8.

Dentre os produtos MODIS relacionados ao estudo da vegetação, o MOD13 possui o índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), que é disponibilizado gratuitamente pela NASA, formado pela composição de imagens de 16 dias, com a correção dos efeitos atmosféricos (nuvens, aerossóis, entre outros), sendo georreferenciadas (JUSTICE et al., 2002).

Na região do Triângulo Mineiro, Anjos et al. (2013) analisaram séries temporais de imagens orbitais do MODIS, que possuem resolução de 250 metros, evidenciaram a eficácia do método na determinação da substituição da pastagem por outros tipos de cobertura de terras (por exemplo, culturas agrícolas e vice-versa). Santana et al. (2010) modelaram para a pastagem as mudanças fisionômicas a partir de dados do NDVI-MODIS para a bacia do rio Paracatu. Com base nestes achados, infere-se a possibilidade de utilização de imagens orbitais no diagnóstico de áreas de pastagens degradadas, bem como a correlação com a qualidade dos solos.

A adequada seleção da área de estudo destinada à avaliação da eficácia do diagnóstico e do processo recuperação das áreas de degradação demanda ampla e atualizada base de dados, em especial relacionada à distribuição espacial e característica da cobertura vegetal. Além disso, requer região com longo histórico de propriedades rurais atuantes principalmente na pecuária extensiva.

A região do Triângulo Mineiro possui, atualmente, grande destaque nacional na produção de grãos, cana-de-açúcar e criação de gado de corte e leiteiro. Grande parte do que é produzido no Estado é destinado ao mercado internacional, sendo este um dos grandes motivos que tornam a região estratégica do ponto de vista da expansão do agronegócio brasileiro. Vários fatores levaram o Triângulo Mineiro a ocupar esta colocação, dentre eles, sua localização geográfica no centro do país; condições de ordem geomorfológica, como o relevo plano que é apto para agricultura mecanizada e para a criação de gado (SOUZA, 2013).

Nas últimas décadas, o Triângulo Mineiro teve um crescimento demográfico acelerado, repercutindo, no campo, em acentuada degradação ambiental, associada à retirada da cobertura vegetal, para a implantação de pastagens e culturas agrícolas (ABDALA, 2005). Em particular na bacia do rio Uberaba, Veríssimo-MG, ocorreu nos últimos 35 anos, um aumento de 81,44 Km<sup>2</sup> em áreas de pastagem, principalmente extensivas (ALMEIDA; VALLE JÚNIOR, 2013). Portanto, este estudo

teve o intuito de avaliar a aplicabilidade e eficácia do uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento no diagnóstico de áreas de pastagens degradadas e sua correlação com a qualidade física do solo no município de Veríssimo – MG.

## **2 REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1 Cartografia**

A Cartografia, por meio das formas de representação do espaço, utiliza os produtos cartográficos para o conhecimento e estudo da geografia de um determinado local. Ou seja, esses produtos registram e armazenam informações que podem apoiar o planejamento e gestão do espaço geográfico na sociedade (RODRÍGUES, 2005).

As representações cartográficas podem ser apresentadas com a utilização de imagens e símbolos gráficos, retratando a distribuição dos fenômenos naturais e culturais com suas relações, bem como as mudanças no tempo e no espaço geográfico (SALICHTCHEV 1988).

Com os avanços tecnológicos relacionados com a representação do espaço geográfico e dos fenômenos, ocorreu o surgimento da cartografia digital, o Sistema de Informação Geográfica (SIG). O que possibilitou uma constante análise e sistematização do conhecimento geográfico, com aprimoramento principalmente das pesquisas relacionadas com as questões ambientais (RODRÍGUES, 2005).

Atualmente, o uso de séries temporais de imagens de Satélites tem possibilitado o detalhamento e sistematização da análise de mudanças ambientais ocorridas em uma região, além de possibilitar o estudo do espaço ao longo do tempo e também do SIG, que permite a aquisição, armazenamento e manipulação de informações de forma rápida e eficiente, proporcionando a tomada de decisões, suprimindo os impactos ambientais.

### **2.2 Sensoriamento Remoto**

O Sensoriamento Remoto é definido como um conjunto de “hardwares” e “softwares” utilizados na coleta e tratamento de informações espectrais orbitais, de alvos na superfície terrestre.

A definição de Sensoriamento Remoto é apresentada por vários autores, como Lillesand e Kiefer (1987), que define como sendo a ciência de obter informações de um determinado objeto, área ou fenômeno através da análise dos

dados adquiridos sem o contato direto com os objetos investigados. Entretanto, Novo (1989), define como sendo a utilização de modernos sensores, aeronaves, espaçonaves, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a Radiação Eletromagnética (REM) e as substâncias existentes na superfície terrestre em suas mais diversas manifestações.

Independente da definição, no sensoriamento remoto a maioria dos sensores são utilizados para quantificar alvos na superfície da Terra, utilizando como fonte de radiação o sol; exceto os sensores ativos (radares e laser), que possuem suas próprias Fontes de radiação. Os sensores ativos podem detectar informações sobre a superfície terrestre sob qualquer condição atmosférica. Assim, o sensoriamento remoto é uma forma de transmissão da energia que consiste na aceleração de uma carga elétrica que provoca perturbações no campo Elétrico (E) e Magnético (M), se propagando (C) no vácuo (Figura 1). Quando essa radiação interage com a matéria, o resultado desta interação depende das propriedades elétricas e magnéticas do material (NOVO, 1989).

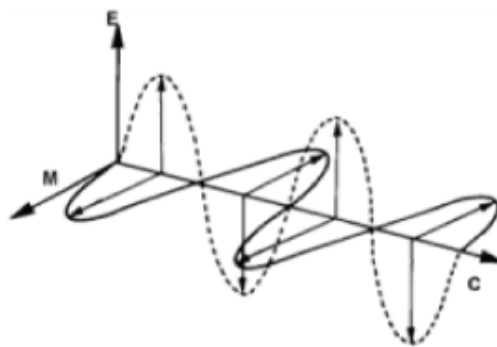


Figura 1: Representação de uma Onda Eletromagnética. Fonte: MOREIRA (2001)

A REM após atravessar a atmosfera atinge alvos na superfície terrestre e interage com os mesmos. O resultado dessa interação consiste no fracionamento da energia incidente em três componentes. Assim, parte desta energia é absorvida (1º componente) e o restante sofre transmissão (2º componente) e reflexão (3º Componente), retornando ao espaço (Figura 2). Além disso, os alvos também emitem REM, resultante de reações físico-químicas que ocorrem ao nível atômico e molecular de cada alvo. Deste modo, é possível analisar as condições dos alvos na superfície terrestre com o emprego de sensores, que captam a radiação refletida ou emitida por eles (RODRÍGUEZ, 2000).

Destacam-se no uso do sensoriamento remoto algumas propriedades como a visão sinóptica, que permite a observação global dos alvos incluindo áreas de difícil acesso. Além disso, podem-se destacar os tipos de resolução, como a *Espectral*, que possibilita o estudo e caracterização do comportamento espectral dos diferentes objetos encontrados na superfície; a *Espacial*, onde é determinada a menor distância entre dois objetos que o sensor é capaz de identificar como diferentes entre si; a *Radiométrica*, que define a sensibilidade do sensor, isto é, detecta a variação da energia em gradações em escala de cinza; e finalmente a *Temporal*, referente à frequência na passagem do satélite sobre uma mesma área (SIMONETT, 1983).

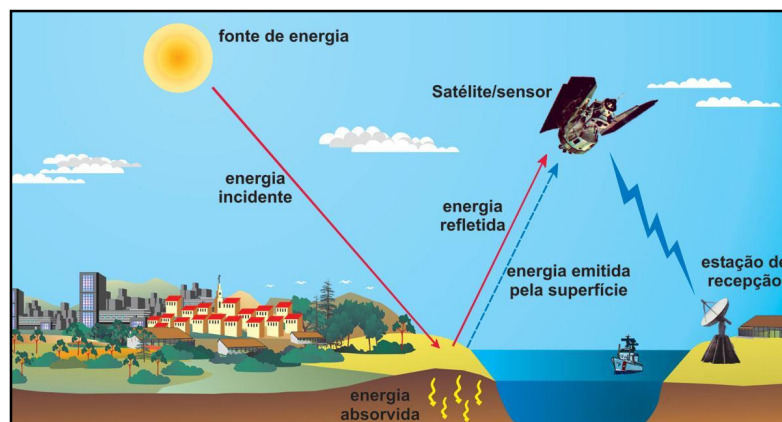


Figura 2: Captação de Imagem por Sensoriamento Remoto (Interação Sol - Terra – Satélite).  
Fonte: FLORENZANO (2002)

O nível de aquisição dos dados está inteiramente ligado à altitude do sensor, dependendo da mesma haverá diferenças na dimensão da área detectada, na interferência dos fatores ambientais, na REM registrada pelo sensor, assim como no nível de informação (MAZZOCATO, 1998).

No presente estudo foram utilizadas as imagens orbitais captadas pelo sensor OLI, do Satélite Landsat-8 e do sensor MODIS, abordo dos satélites Terra (EOS AM-1) e Acqua (EOS PM-1).

### 2.2.1 Satélite LANDSAT

O programa Landsat foi desenvolvido pela NASA no início dos anos 70, com o objetivo de coletar dados sobre os recursos naturais renováveis e não-renováveis da superfície terrestre (NOVO, 1989). Este programa fez o lançamento de oito satélites, e atualmente encontra-se em operação o Landsat-7 e o Landsat-8.



O Landsat-7 foi lançado em 15 de abril de 1999. A bordo deste satélite está o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) que possui bandas no visível (V), infravermelho próximo (IVP) e médio (IVM) com uma resolução de 30 metros, além destas possui uma banda pancromática de 15 metros e outra no infravermelho termal (IVT) de 60 metros.

Em maio de 2003, o satélite Landsat-7 apresentou problemas no equipamento eletromecânico chamado SLC (*Scan Line Correction*), que compensa o deslocamento do satélite em relação ao movimento de rotação da Terra durante as aquisições das imagens, e, portanto, desde então, o satélite produz imagens com vazios e/ou ruídos principalmente nas suas bordas (PIRES E FERREIRA JÚNIOR, 2015).

Embora as cenas do Landsat-7 possuam apenas 78 por cento de seus pixels, essas imagens ainda são um dos dados de satélites civis mais precisos geometricamente e radiometricamente existentes no mundo. Cabe ressaltar que a imagem termal não foi afetada radiometricamente pelo problema do SLC-off (USGS, 2015).

O satélite Landsat-8 foi lançado pela NASA em 11 de fevereiro de 2013, operando a uma altitude de 705 km, numa órbita heliosincrona com inclinação de 98,2°. O satélite possui o sensor OLI com 9 bandas espectrais e o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) com 2 bandas espectrais no IVT (Tabela 1) (USGS, 2015).

Tabela 1: Bandas Espectrais do Satélite Landsat-8

BANDAS	FAIXA ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )	RESOLUÇÃO (Metros)
Banda 1 – Aerosol / costeira	0,43 – 0,45	30
Banda 2 – Azul	0,45 – 0,51	30
Banda 3 - Verde	0,53 – 0,59	30
Banda 4 - Vermelho	0,64 – 0,67	30
Banda 5 – Infravermelho Próximo	0,85 – 0,88	30
Banda 6 - Multiespectral 1	1,57 – 1,65	30
Banda 7 - Multiespectral 2	2,11 – 2,29	30
Banda 8 - Pancromático	0,50 – 0,68	15
Banda 9 - Cirrus	1,36 – 1,38	30
Banda 10 – Infravermelho Termal 1	10,60 – 11,19	100
Banda 11 - Infravermelho Termal 2	11,50 – 12,51	100

Fonte: USGS, 2015

### 2.2.1 Sensor MODIS

O Programa EOS (*Earth Observing System*) consiste na concepção de plataformas orbitais com vários sensores a bordo, visando coletar simultaneamente diferentes dados, que são ofertados gratuitamente pela NASA.

Tabela 2: Bandas Espectrais do Sensor MODIS.

	Banda	Largura da Banda	Radiância
Terra/Nuvens/Aerossóis	1	620 - 670	21,8
	2	841 - 876	24,7
Terra/Nuvens/Aerossóis	3	459 - 479	35,3
	4	545 - 565	29
	5	1230 - 1250	5,4
	6	1628 - 1652	7,3
	7	2105 - 2155	1
Cor do oceano/Fitoplancton/Biogeoquímica	8	405 - 420	44,9
	9	438 - 448	41,9
	10	483 - 493	32,1
	11	483 - 493	27,9
	12	546 - 556	21
	13	662 - 672	9,5
	14	673 - 683	8,7
	15	743 - 753	10,2
Vapor d'água atmosférico	16	862 - 877	6,2
	17	890 - 920	10
	18	931 - 941	3,6
Temperatura superfície/nuvens	19	915 - 965	15
	20	3,660 - 3,840	0,45 (300K)
	21	3,929 - 3,989	2,38 (335K)
	22	3,929 - 3,989	0,67 (300K)
Temperatura atmosférica	23	4,020 - 4,080	0,79 (300K)
	24	4,433 - 4,498	0,17 (250K)
Vapor d'água de nuvens Cirrus	25	4,482 - 4,549	0,59 (275K)
	26	1,360 - 1,390	6
	27	6,535 - 6,895	1,16 (240K)
Propriedade de nuvens	28	7,175 - 7,475	2,18 (250K)
	29	8,400 - 8,700	9,58 (300K)
Ozônio	30	9,580 - 9,880	3,69 (250K)
Temperatura de superfície/nuvens	31	10,780 - 11,280	9,55 (300K)
	32	11,770 - 12,270	8,94 (300K)
Altitude de topo de nuvens	33	13,185 - 13,485	4,52 (260K)
	34	13,485 - 13,785	3,76 (250K)
	35	13,785 - 14,085	3,11 (240K)
	36	14,085 - 13,385	2,08 (220K)

Fonte: Rudorff et al., 2007. Bandas 1 a 19 estão em nm e as Bandas 20 a 36 estão em  $\mu\text{m}$ . Radiância espectral em ( $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}\text{sr}^{-1}$ )

A plataforma terra foi a primeira a ser lançada pelo programa EOS, tendo a bordo os sensores: CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*),

MODIS e MISR (*Multi-angle Imaging SpectroRadiometer*). O sensor MODIS é o principal instrumento desta plataforma, sendo lançado em dezembro de 1999.

Segundo Vermote (2002), o sensor MODIS foi construído baseado nas experiências do AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) e TM (*Thematic Mapper*), visando a coleta de dados globais diários, com alta qualidade radiométrica e geométrica.

Imagens orbitais são obtidas a cada dois dias, fornecendo informações da superfície terrestre, oceano e atmosfera nos comprimentos de onda do visível e infravermelho do espectro eletromagnético. Possui 36 bandas espectrais no intervalo de 0,4 a 14,4  $\mu\text{m}$  com resolução radiométrica de 12 bits (Tabela 2).

As imagens orbitais possuem resolução espacial de 250 m (bandas 1 e 2), 500 m (bandas 3 a 7) e 1 km (bandas 8 a 36), sendo que o sensor está em órbita a 705 km de altura, permitindo varredura no sentido ortogonal numa faixa de 2.330 km.

Dentre os produtos MODIS relacionados ao estudo da vegetação, o MOD13Q1 – Grades de índices de vegetação (Máximo NDVI e MVI integrado) – contém os índices de vegetação NDVI e EVI (*Enhanced Vegetation Index*), produzidos globalmente com resolução de 250 m, em composições de imagens de 16 dias (JUSTICE et al., 2002). Além disso, são oferecidas imagens corrigidas dos efeitos atmosféricos (nuvens, aerossóis, entre outros) e georreferenciadas.

### **2.3 Comportamento Espectral**

O comportamento espectral dos alvos está integralmente associado às interações da REM, a qual interage com o alvo ou objeto na superfície terrestre refletindo, absorvendo e transmitindo essa mesma radiação em diferentes proporções, de acordo com suas propriedades bio-físico-químicas.

Vários sensores são capazes de captar e registrar essa radiação advinda dos alvos ou objetos presentes na superfície terrestre. Estes sensores são transportados via aérea por balões, helicópteros e aviões, ou ainda via orbital por satélites artificiais (FLORENZANO, 2002). Ainda, existem os espectroradiômetros que são sensores de medição no campo ou laboratório com o intuito de determinar a curva ou assinatura espectral de um determinado alvo como, por exemplo: a vegetação, os solos, a água ou sombra.

### 2.3.1 Propriedades Espectrais

O estudo do comportamento espectral da vegetação é fundamentado em dois aspectos, sendo o primeiro das folhas como entidades independentes e o segundo como um dossel.

As propriedades espectrais da vegetação podem ser representadas por processos de absorvância, reflectância e transmitância, podendo cada uma ser hemisférica ou bidirecional (PONZONI E SHIMABUKURO, 1991).

A energia radiante incidente, ao interagir com a folha, é parcialmente absorvida, transmitida e refletida. A energia absorvida seletivamente em determinados comprimentos de onda pelos pigmentos das plantas é, em parte, dissipada na forma de calor ou fluorescência, sendo que apenas uma pequena parcela da energia é armazenada em forma de compostos orgânicos através da fotossíntese (GATES et al., 1965).

As propriedades espectrais de uma folha estão relacionadas com a sua composição, morfologia e estrutura interna, podendo variar com a sua idade, dentro do mesmo grupo genético (KUMAR, 1972).

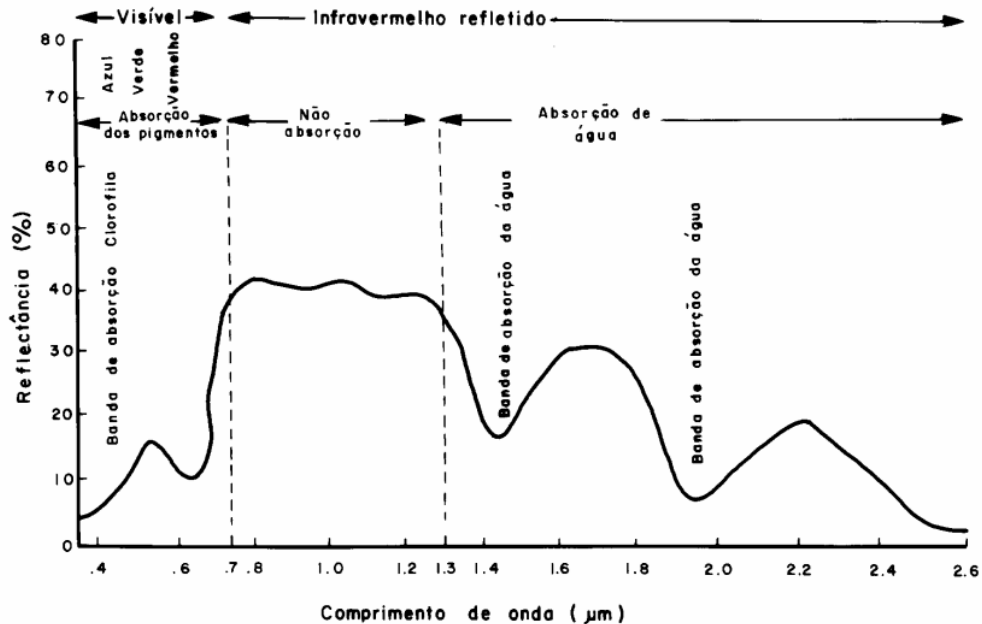


Figura 3: Comportamento espectral típico de uma folha verde sadia. Fonte: KUMAR (1972).

Na Figura 3, apresenta a curva média típica de uma folha verde sadia. Pode-se verificar que a região do visível ( $V= 0,45-0,70 \mu\text{m}$ ) caracteriza-se por uma alta absorção da REM por parte dos pigmentos existentes nos cloroplastos. Estes são responsáveis pela baixa reflectância da vegetação na faixa do visível. Esses pigmentos são a clorofila, os carotenos e as xantofilas presentes nas folhas em percentagens variadas (KUMAR, 1972).

Os diferentes tipos de elementos da vegetação foram o dossel: folhas, galhos, frutas, flores etc. (GOEL, 1988). A interação da REM com a cobertura vegetal é complexa devido aos próprios parâmetros que compõem a arquitetura do dossel, e o fato dele ser geralmente composto por diferentes espécies vegetais.

O fluxo de radiação solar incidente sobre um dossel é constituído por duas partes: uma fração da radiação que não é nem absorvida nem espalhada pela atmosfera, denominada fluxo direto, e outra fração espalhada pela atmosfera na direção descendente e que incide sobre o dossel de forma difusa, denominada de radiação difusa ou do céu.

O fluxo solar incidente e a radiância do dossel, ou seja, o fluxo que atinge o sensor depende não só das propriedades de absorção ou espalhamento dos elementos que compõem a vegetação, como também da orientação e densidade dos elementos (GOEL, 1988).

Neste contexto, a reflectância do dossel é produto da interação entre a radiação solar, a atmosfera, os elementos da vegetação e o solo. A análise da reflectância proveniente do dossel é muito complexa devido ao grande número de variáveis envolvidas (KUMAR, 1972; PINTER et al., 1985; GOEL, 1988; CURRAN E WARDLEY, 1988).

De acordo com Colwell (1974), o fator de reflectância espectral bidirecional de folhas é o parâmetro fundamental para a caracterização do dossel. Outros parâmetros são: transmitância das folhas, quantidade e arranjo do dossel (galhos, frutos etc.), características do solo, ângulo zenital solar, ângulo de visada e ângulo azimutal relativo (da Fonte e do sensor).

A caracterização do dossel é realizada por meio de modelos matemáticos de reflectância, fornecendo conexão lógica entre as características botânicas e biofísicas do dossel, a geometria da interação radiométrica e as mudanças resultantes da radiação refletida (GOEL, 1988).

### 2.3.1.1 Comportamento Espectral dos Solos

Os principais parâmetros que podem alterar o comportamento espectral dos solos são:

#### A. Umidade:

Os solos úmidos geralmente se apresentam mais escuros que quando secos nas imagens orbitais, conferindo diferentes tonalidades de cinza: cinza escuro (solos úmidos) e claro (solos secos).

A coloração mais escura observadas nos solos úmidos está relacionada à maior absorção da REM, devido à presença de água, conferindo uma redução da reflectância do espectro eletromagnético na região do visível e do infravermelho próximo, diferindo dos solos secos.

De acordo com Formaggio (1999), este fenômeno está relacionado às reflexões internas dentro do fino filme de água que recobre as partículas do solo. Assim, parte da energia não é refletida, mas sim novamente refletida entre a superfície da partícula e a superfície do filme de água.

Neste sentido, quando se umedece o solo a curva espectral não muda de formato, mas ocorre acentuada redução da reflectância quando são umedecidos solos com pouca matéria orgânica (MO), em comparação aos solos com alto conteúdo de MO.

#### B. Matéria Orgânica:

Na medida em que o conteúdo de MO aumenta, a reflectância do solo diminui, no intervalo entre 0,4 e 2,5  $\mu\text{m}$  (Visível ao Infravermelho Termal). Assim, no solo existem materiais orgânicos em diferentes estágios de decomposição, em que quanto maior a decomposição de material orgânico, maior será a absorção da REM e conseqüentemente menor será a reflectância do solo (Figura 4).

Na figura 4 pode-se observar que de acordo com a característica tiomórfica dos solos, Sápricos, Hêmicos e Fíbricos, observam-se diferentes reflectâncias; altamente, moderadamente e fracamente decompostos, respectivamente (MOREIRA, 2001).

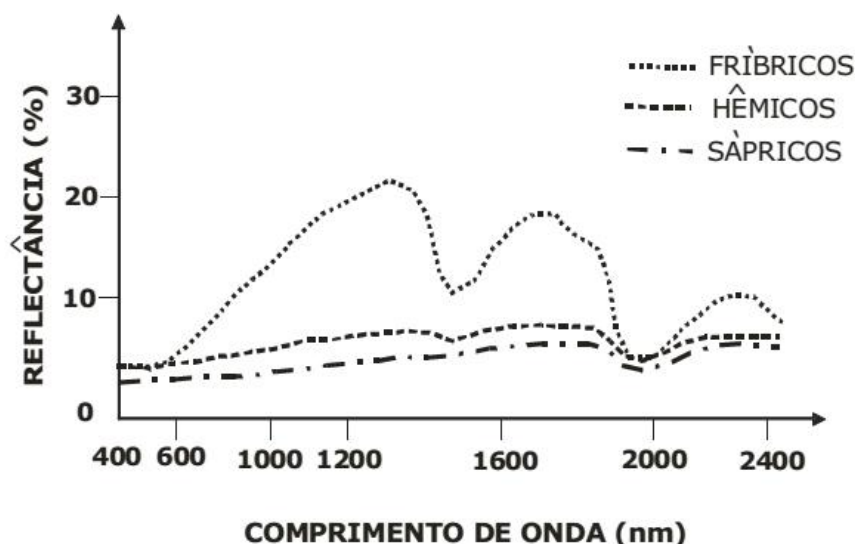


Figura 4: Comportamento da reflectância de acordo com característica tiomórfica dos solos. Fonte: MOREIRA (2001).

Os constituintes orgânicos (ácidos húmicos, úlvico e compostos não-específicos, incluindo resíduos de plantas em decomposição) influenciam na reflectância do solo em diferentes graus, embora a contribuição de cada um seja difícil de quantificar.

A reflectância entre 0,60 e 1,10  $\mu\text{m}$  tem as melhores correlações com certos constituintes orgânicos; porém, há necessidade de melhores técnicas para determinar os constituintes orgânicos (Visível ao Infravermelho Próximo). O intervalo entre 0,90 e 1,22  $\mu\text{m}$  é o melhor para mapear carbono orgânico dos solos. Os comprimentos de onda até 1,2  $\mu\text{m}$  são os melhores para separar níveis de MO dos solos, isto é, a discriminação é maior na faixa do visível e do infravermelho próximo (FORMAGGIO, 1999).

### C. Granulometria:

O tamanho e o formato das partículas do solo, bem como dos seus agregados, podem influenciar de várias maneiras na reflectância dos solos. Em estudo realizado por Formaggio (1999), foi evidenciado que as partículas finas presente no solo preenchem completamente os volumes e formavam uma superfície mais plana. Todavia, agregados grossos (Irregulares) formavam uma superfície complexa, com presença de inúmeros espaços interagregados, ocorrendo à perda de parte do fluxo incidente pela penetração nestes espaços "armadilhas", ocorrendo à extinção completa de luz (FORMAGGIO, 1999).

#### **D. Óxido de Ferro:**

Em solos tropicais altamente intemperizados, observa-se influência dos níveis de óxido de ferro no comportamento da reflectância dos solos. O tipo e a quantidade relativa de óxidos de ferro caracterizam as cores dos solos, que variam de vermelhos a amarelos, os quais são ricos em argilas sesquioxídicas.

Os solos com elevado conteúdo de ferro podem ser facilmente identificados pela inflexão característica conferida pelo  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (FORMAGGIO, 1999). Assim, o conteúdo de óxido de ferro livre apresenta relação significativa em termos espectrais, tanto no visível quanto no infravermelho. No entanto, a significância aumenta de acordo com os comprimentos de onda e a presença de MO não diminui a contribuição do ferro para a reflectância do solo.

#### **E. Mineralogia de Argila:**

Nos espectros dos minerais de argila dos grupos Montmorilonita e Caulinita, as principais feições de absorção se devem à presença de água (FORMAGGIO, 1999). As bandas de absorção no IVM de 1,4 e 1,9  $\mu\text{m}$  (absorção muito forte) ocorrem devido à presença de água molecular confinada, típica das Montmorilonitas. E no intervalo centrado no IVM em 1,4 e 2,2  $\mu\text{m}$  (absorção forte) são típicas da reflectância da Caulinita, enquanto que a falta de água confinada, em quantidade apreciável, resulta em somente uma banda de absorção em 1,9  $\mu\text{m}$  (absorção fraca).

#### **F. Material de Origem:**

As curvas de reflectância para solos desenvolvidos de calcários, de argilitos e de arenitos exibem formas características contrastantes (FORMAGGIO, 1999).

As intensidades de reflectância das rochas ígneas diminuem a partir das formas ácidas, passando pelas intermediárias, pelas básicas e até as ultrabásicas, as quais sempre mostram uma banda de absorção bem definida de ferro-ferroso próximo de 1,0  $\mu\text{m}$ , no IVP. Portanto, áreas geográficas de material de origem similar podem ser mais bem estudadas separadamente quando se objetiva relacionar a reflectância com outros parâmetros do solo como: a cor, a capacidade de troca catiônica, as condições de drenagem interna do solo, a temperatura, a



localização (condições de umidade macro-regional) e as condições de superfície, entre outros.

### **2.3.1.2 Comportamento Espectral das Culturas Agrícolas**

As diferentes culturas agrícolas apresentam distintos comportamentos espectrais decorrentes das suas propriedades específicas e de suas condições físicas, tais como: déficit hídrico, senescência, floração, estresse, doenças e ataque de pragas.

No período de plantio as culturas agrícolas apresentam uma baixa reflectância, em decorrência de serem ainda muito jovens e apresentarem poucas folhas. Assim, o solo é quem reflete mais a REM, em comparação às culturas. A modificação desta condição ocorre quando a cultura atinge seu ápice no desenvolvimento e cobre todo o solo, passando a ter uma alta reflectância (FORMAGGIO, 1999).

Em algumas culturas, como o café e citrus, devido sua estrutura foliar não cobrir todo o solo e também pela característica do plantio, que apresenta grande espaçamento, ocorre à adição da contribuição da reflectância do solo no seu comportamento espectral específico.

Outro fator que afeta o comportamento espectral das culturas é o déficit hídrico. Com exemplo, no plantio da soja, a REM é progressivamente diminuída na faixa do IVM e aumentada no IVP, evidenciando não somente a perda de água, mas também o desarranjo do tecido intercelular, pela redução da concentração de clorofila nas folhas (SHORT, 2015).

Com base nos relatos descritos na literatura, fica evidenciada que diferentes culturas agrícolas e características de solo atribuem distintos padrões de comportamento espectral, inferindo a possibilidade de uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento no diagnóstico de conflitos de uso e ocupação da terra, bem como a perspectiva de correlação com a qualidade do solo.

## **2.4 Qualidade do Solo**

A qualidade do solo é um termo relativamente recente, que vem sendo empregado na avaliação da sustentabilidade relacionada ao uso e ocupação da terra. Assim, esta corresponde ao elo existe entre a prática agrícola e a agricultura

sustentável (SANTANA; BAHIA-FILHA, 1998). Neste contexto, a característica do manejo do solo interfere diretamente no seu potencial produtivo (SILVA et al., 2009).

Dentre os diferentes métodos utilizados na análise da qualidade do solo, até o momento não encontramos um método direto, que seja prático e confiável (KARLEN et al., 1997). De acordo com Araújo (2012), as mudanças na qualidade dos solos têm sido avaliadas por meio da estimativa de indicadores, comparando-os com valores desejáveis (Limite crítico ou *threshold level*) em diferentes intervalos de tempo, específicos para ecossistemas agrícolas, florestais, pecuários e naturais.

Os indicadores fornecem dados da capacidade do solo, que devem ser empregados respeitando a produtividade biológica, a qualidade ambiental, bem com a saúde humana e animal. A qualidade “ideal” de um solo é subjetiva, pois depende de inúmeros fatores, como o do tipo de solo e cultura (CHAER, 2001). Deste modo, os indicadores da qualidade do solo podem ser divididos em três grupos (ISLAM E WEIL, 2000): a) efêmeros, cujas alterações se dão rapidamente no tempo de acordo com o manejo, como a acidez, a disponibilidade de nutrientes e a compactação do solo, b) intermediários, que dependem da influência dos processos que ocorrem no solo, tais como teor de carbono orgânico total, agregação e biomassa microbiana e, c) permanentes, que são inerentes às características do solo, como profundidade, textura e mineralogia.

A avaliação da qualidade dos solos é tarefa complexa, devendo ser realizada em função de inúmeros indicadores específicos denominados atributos, bem como as suas inter-relações, visando caracterizar a perda ou ganho no potencial produtivo de determinado tipo de solo (SANTOS, 2010).

Apesar disso, deve-se estabelecer um índice de qualidade do solo, com intuito de identificar os problemas, bem como realizar a estimativa realística, com o monitoramento das mudanças na sustentabilidade e qualidade ambiental, visando avaliar e adaptar adequadamente as formas de manejo (SOUZA et al., 2003). Ainda, este índice pode ser empregado na avaliação das mudanças no funcionamento do solo ou limitações do ecossistema (SEYBOLD; HERRICK; BREJDA, 1997).

### 2.4.1 Atributos Físicos do Solo

O diagnóstico da qualidade do solo pode ser realizado com base em indicadores, com o intuito de propiciar incremento e/ou manutenção da produção agrícola e da qualidade ambiental (MARTINAZZO, 2006).

A porosidade do solo tem sido empregada como indicador da qualidade do solo, por tratar-se de propriedades dinâmicas, suscetíveis ao uso e de fácil determinação, estando relacionadas à compactação e à relativa restrição ao crescimento radicular (ARSHAD; LOWER; GROSSMAN, 1996).

A característica do manejo do solo pode intervir na sua porosidade, podendo propiciar: a) redução dos macroporos, relacionado principalmente à pressão mecânica de máquinas agrícolas; b) à compressão do ar nos microporos dos agregados, durante os ciclos de umedecimento e secagem do solo; c) à força cinética da gota da chuva; d) à aração profunda; e) ao entupimento dos microporos; f) ao baixo conteúdo de MO e nutrientes (AGUIAR, 2008).

A análise da textura é imprescindível para a classificação do solo e a predição do manejo e da aptidão de uso. Ainda, a textura é fator determinante das propriedades de retenção e capacidade de armazenamento de água e nutrientes, bem como da distribuição de poros e, conseqüentemente, das propriedades de condução de água e gases; afetando a dinâmica das trocas com plantas e atmosfera (REICHARDT; TIMM, 2012; FELLER; BEARE, 1997).

A textura também interfere na resistência do solo à ação da movimentação do solo por implementos agrícolas, bem como nas propriedades térmicas do solo, tais como: capacidade calorífica e condutividade térmica, estrutura do solo, teor de nutrientes e de matéria orgânica.

Contudo, é indispensável à avaliação dos atributos físicos em sistemas de manejo do solo que envolva pastejo animal, pois suas alterações podem afetar o crescimento e desenvolvimento radicular, acarretando redução da oferta de forragem (LIMA et al., 2007).

### **3 OBJETIVOS**

#### ***3.1 Objetivo Geral***

Avaliar a aplicabilidade e eficácia do uso do sensoriamento remoto e geoprocessamento no diagnóstico de áreas de pastagem degradada e sua correlação com a qualidade física do solo, na bacia do rio Uberaba, Veríssimo – MG.

#### ***3.2 Objetivos Específicos***

1. Mapear as áreas de pastagem no município de Veríssimo-MG, identificando as áreas degradadas a partir de séries temporais do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI), no período de 2013 a 2015;
2. Determinar o grau de confiabilidade do método no diagnóstico das áreas de pastagens degradadas, utilizando imagens do MODIS-NDVI e do Landsat-8.
3. Estabelecer, em nível de campo, relação entre as propriedades físicas do solo e a degradação das pastagens.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de Estudo

A área de estudo abrange o município de Veríssimo, na bacia do rio Uberaba (Figura 1), situado na região do Triângulo Mineiro nas coordenadas geográficas de 19°39'46" S e 48°18'28" W, distante a 43 km de Uberaba e possuindo uma área total de 1031,6 km<sup>2</sup> (ALMEIDA E VALLE JÚNIOR, 2013).

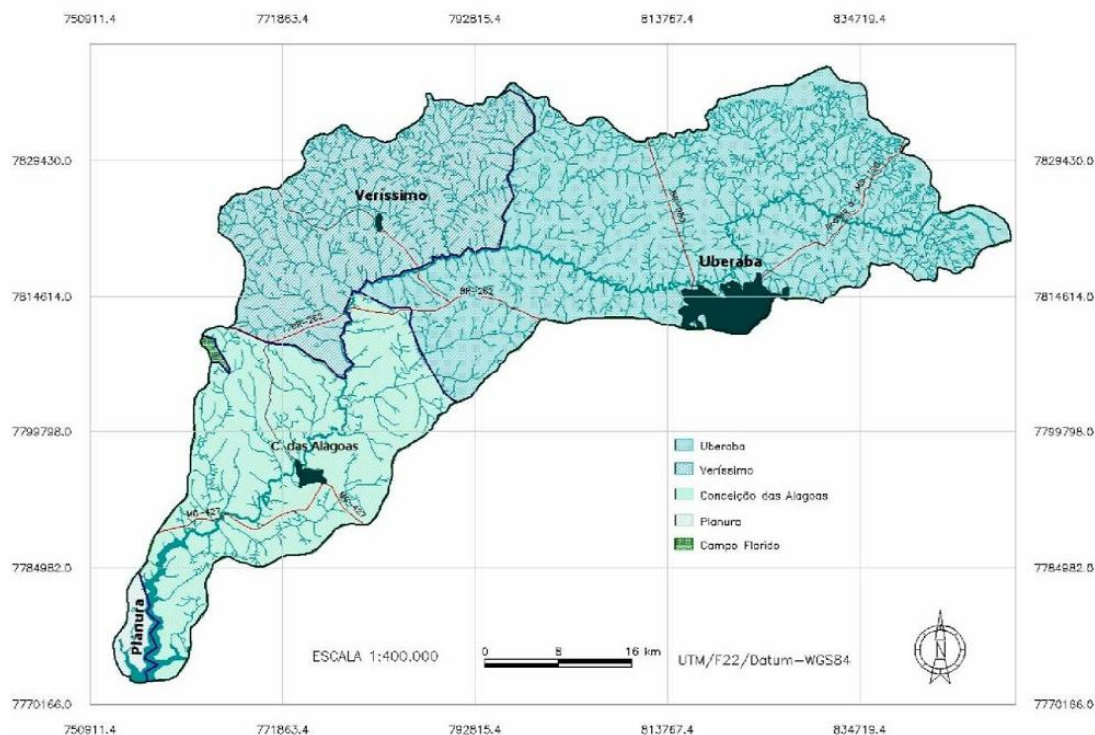


Figura 5: Divisão da bacia do rio Uberaba, de acordo com o território dos municípios. Fonte: CANDIDO, 2008

Na figura 5 nota-se a abrangência da bacia do rio Uberaba no município de Veríssimo-MG, a qual se delimita entre os paralelos 19°31'55" a 19°49'20" de latitude sul e entre os meridianos 48°08'36" e 48°28'11" a oeste de Greenwich.

#### 4.1.1 Características da Área de Estudo

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (1982 apud VALLE JUNIOR et al., 2010a) afirma que geologicamente os solos da bacia do rio Uberaba-MG são muito variados, a maioria apresentando textura média, sendo classificados de uma forma geral como latossolos de diferentes graus de fertilidade.

No entanto, os solos predominantes na região do Triângulo Mineiro são os latossolos vermelho (66,8% da área total) e o roxo (17,7%).

Entre Veríssimo-MG, encontram-se arenitos sobre os basaltos da formação Serra Geral, cujos componentes litológicos fundamentais são: arenitos conglomerados, argilito e rochas silicatadas, podendo atingir espessura na ordem de 220 m (CANDIDO, 2008).

Quanto ao clima, tem-se o inverno como frio e seco, e o verão, como quente e chuvoso. Com respeito à pluviometria, o período chuvoso vai de outubro a abril, sendo a estação seca de maio a setembro e os meses de dezembro e janeiro os mais chuvosos. A bacia do rio Uberaba segundo a classificação internacional de Köppen tem o clima do tipo Aw, isto é, tropical, sendo o domínio climático conceituado como semiúmido com 4 a 5 meses secos (VALLE JUNIOR, et al., 2010b).

#### 4.2 Determinação NDVIs

O Mapeamento das áreas de pastagens foi realizado utilizando o NDVI, no período de 2013 a 2015, por meio de imagens orbitais captadas pelo satélite Landsat-8 e pelo sensor MODIS.

As imagens orbitais do MODIS foram obtidas a partir do produto MOD13Q1, relacionados ao estudo da vegetação, que consiste na composição de imagens de 16 dias, com correção dos efeitos atmosféricos (nuvens, aerossóis, entre outros) e georreferenciadas.

Na análise das imagens orbitais captadas pelo sensor OLI do Satélite Landsat-8, foram consideradas as bandas 4R, 3G e 2B, para compor a visualização em cor natural, enquanto para obter os índices de vegetação foram consideradas as bandas 4R e 5NIR.

A conferência do registro geométrico das imagens foi realizada com base nos registros cartográficos disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): na escala 1:100.000.

Após conferência do registro geométrico, as imagens do Landsat-8 foram utilizadas para elaboração dos NDVIs, que é sensível a clorofila e possuindo a seguinte formulação, desenvolvida por Rouse (1973), conforme equação 1:

$$\frac{[\text{band 5(NIR)} - \text{band4(R)}]}{[\text{band5(NIR)} + \text{band4(R)}]} \quad (1)$$

em que:

NIR- valor da refletância no infravermelho próximo (800-1100 nm);  
R- refletância na faixa do vermelho (600-700 nm).

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.

### 4.3 Processamento Digital

O processamento digital das imagens e álgebra de mapas (NDVI) foi realizado utilizando *software* IDRISI *Selva* (Versão 17.00), específico para Processamento Digital de Imagens georreferenciadas.

Inicialmente foi realizada a conferência do registro geométrico das imagens, no *software* IDRISI, utilizando as cartas geográficas do município de Veríssimo (IBGE), na escala 1:100.000. Primeiramente foi realizado o registro das cartas na projeção UTM WGS84, Zona 22 Sul. Posteriormente, foram identificados 16 pontos no município de Veríssimo a partir de imagem do Google Earth e com checagem em campos de áreas com e sem presença de pastagem degradada.

Na sequência, foram elaborados polígonos com raio de 100 m dos pontos observados mediante comando "*Buffer*". Desta forma, resultou no recorte dos polígonos nos NDVI das imagens, possibilitando isolar as fisionomias de pastagem degradada e não degradada no município de Veríssimo, com a divisão em quatro classes: 1ª pasto sadio (PS); 2ª pastagem com presença de plantas invasoras (PI); 3ª Pastagem com presença de plantas invasoras e cupim (PIC); 4ª pastagem com presença de plantas invasoras e erosão (PIE).

A partir da delimitação destes polígonos foi realizada a identificação dos valores de *pixel* (máximo, médio, mínimo e desvios de cada imagem), por meio do comando "*Statistics-Histo*" do SIG do *software* IDRISI, possibilitando a identificação dos respectivos valores nas pastagens.

Na obtenção dos espectros de NDVI, as imagens relativas às diferentes datas foram unidas, formando um cubo de imagens temporais. Desta forma, o cubo apresenta nos eixos "x" e "y" as coordenadas geográficas analisadas nos polígonos

e no eixo “z”, do espectro temporal do NDVI. Os espectros temporais foram ordenados no cubo utilizando a sequência dos dias do ano em ordem crescente.

#### 4.4 Qualidade dos Solos

##### 4.4.1 Análises Físicas

Após identificação das áreas de pastagens degradadas no município de Veríssimo-MG, com a determinação de dezesseis polígonos, sendo quatro para cada fisionomia de pastagem, foi realizado trabalho em campo, com coleta de amostras de solo.

Em cada polígono foram estabelecidos aleatoriamente cinco pontos de coleta com intervalos regulares de aproximadamente 20 m, perfazendo um total de 80 pontos de coleta.

Na mesma ocasião em que foram coletadas as amostras indeformadas com anéis volumétricos (Figura 6A), para análise dos atributos físicos do solo, foram coletadas amostras deformadas por meio de trado tipo holandesas (Figura 6B), na profundidade de 0 - 0,20 m, para análise da fertilidade do solo.



Figura 6: Anéis Volumétricos (A) Trado tipo holandês (B).

**Fonte:** Acervo próprio

As amostras indeformadas foram coletadas na profundidade de 0 – 0,10 m, utilizando cilindros com volume interno aproximadamente de  $8,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , com o posicionamento do centro dos anéis volumétricos a profundidade de 0,05 m,



desprezando o solo na camada superficial (0 - 0,025 m) e da camada profunda (0,075 – 0,10m).

#### **4.4.1.1 Densidade do Solo**

Amostras de solo coletadas com estrutura indeformada através de um anel de aço (Kopecky) de bordas cortantes e volume interno aproximadamente de  $8,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3$ , foram limpos externamente, tampados e vedados com gaze e elástico, sendo levados ao laboratório. A densidade do solo foi determinada pelo método do volume conhecido (EMBRAPA, 1997).

#### **4.4.1.2 Microporosidade**

A microporosidade do solo foi determinada pelo método da mesa de tensão em 60%, segundo metodologia da Embrapa (1997). Amostras saturadas foram colocadas sob a mesa de tensão, retirando a água dos macroporos (poros com  $\theta \geq 0,05 \text{ mm}$ ). Após pesagem, antes e após secagem em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , com determinação do volume de microporos contidos na amostra.

#### **4.4.1.3 Porosidade Total e Macroporosidade**

As amostras de solo com estrutura indeformada coletadas em anel volumétrico foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de  $2/3$  da altura do anel, para determinação da porosidade total (Pt) obtida pela relação volumétrica entre a massa do solo saturado e a massa do solo seco em estufa a  $105^\circ \text{ C}$  durante 24 horas, com a determinação da Percentagem de Saturação em Volume (Ps), onde  $P_t = P_s$  (EMBRAPA, 1997).

A macroporosidade foi obtida pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

#### **4.4.1.4 Textura do Solo**

A composição granulométrica dos solos foi determinada através da dispersão com NaOH ( $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ ) e agitação lenta durante 16 horas, sendo o conteúdo de argila obtido pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

## 4.5 Análise dos Dados

### 4.5.1 Análises dos NDVIs

Nas análises de diagnóstico de áreas de pastagens degradadas foram utilizados três modelos matemáticos de regressão não linear com distribuição ondulatória (Santana et al., 2010) e um linear, visando avaliar as assinaturas temporais em quatro fisionomias registradas: a) Pasto Sadio (PS); b) Pasto com presença de plantas Invasoras (PI); c) Pasto com presença de plantas invasoras e cupim (PIC); d) Pasto com presença de plantas invasoras e erosão (PIE). As equações significativas que se ajustaram aos dados ( $y = \text{NDVI}$  e  $x = \text{espectros temporais}$ ), apresentando maior coeficiente de correlação, possibilitaram definir os alvos presentes, com identificação das áreas com presença de pastagens degradadas e possíveis ocorrência de mudanças.

Os modelos foram gerados pelo programa MINITAB, sendo a variável dependente ( $y$ ) representada pelo NDVI, enquanto a variável independente ( $x$ ), pelas datas das séries temporais.

O Erro residual de cada modelo foi obtido pela seguinte fórmula (Zar, 1999):

$$\text{Erro Residual (\%)} = \frac{\text{Dado Real} - \text{Dado Estimado}}{\sum \text{Dado Real} - \text{Dado Estimado}} \times 100 \quad (2)$$

As assinaturas temporais para identificação da fisionomia de pastagens foram avaliadas por análise de variância, com nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ). Os modelos foram analisados utilizando-se o coeficiente de determinação ajustado  $R^2$  (aj) da análise de regressão e pelo nível de significância ( $p$ ) para um intervalo de confiança de 95%.

### 4.5.2 Análises Qualidade dos Solos

A análise dos dados da qualidade física e química do solo foi realizada por meio de análises multivariadas, além de testes de correlação e análises de regressão, visando relacionar a qualidade do solo com valor do pixel das áreas com e sem presença de pastagem degradada. Todas as análises estatísticas foram

realizadas utilizando o *software* MINITAB, sendo adotado nível de significância de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Comportamento do Pixel

O modelo de regressão cúbica descreveu significativamente melhor o comportamento dos valores médios do pixel ao longo do ano ( $p < 0,0001$ ), determinado pela análise de variância (ANOVA) por meio do software MINITAB. No entanto, os valores máximos, médios e mínimos das séries temporais do MODIS-NDVI apresentaram maior coeficiente de ajuste [ $\uparrow R^2(\text{aj})$ ], em comparação ao Landsat-8 (Tabela 3), no qual o comportamento do valor do pixel é descrito nas diferentes fisionomias de pastagens essencialmente pela regressão cúbica dos valores médios ( $p < 0,0001$ ).

Tabela 3: Análise estatística do conjunto amostral das séries temporais do MODIS-NDVI e Landsat-8.

Fisionomia de Pastagens	Valor do Pixel	MODIS/NDVI				LANDSAT			
		S	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> (aj) (%)	p	S	R <sup>2</sup> (%)	R <sup>2</sup> (aj) (%)	p
PS	Mín.	764,16	57,5	55,6	0,0001	0,113	15,9	8,0	0,130
	Máx.	578,96	54,1	52,0	0,0001	0,683	30,8	24,3	0,103
	Médio	<b>443,72</b>	<b>81,2</b>	<b>80,3</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,080</b>	<b>49,4</b>	<b>44,7</b>	<b>0,0001</b>
PI	Mín.	791,12	51,2	49,5	0,0001	0,653	38,8	33,1	0,0001
	Máx.	583,11	70,3	69,3	0,0001	0,089	9,1	0,5	0,084
	Médio	<b>596,43</b>	<b>70,6</b>	<b>69,6</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,065</b>	<b>59,3</b>	<b>55,4</b>	<b>0,0001</b>
PIC	Mín.	741,88	59,6	57,8	0,0001	0,086	23,5	16,3	0,154
	Máx.	377,22	63,6	61,9	0,0001	0,055	31,0	24,6	0,931
	Médio	<b>477,87</b>	<b>77,8</b>	<b>76,8</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,090</b>	<b>38,1</b>	<b>32,3</b>	<b>0,019</b>
PIE	Mín.	997,12	42,4	39,4	0,0001	0,071	9,5	1,0	0,082
	Máx.	540,12	75,3	74,1	0,0001	0,068	20,3	12,8	0,012
	Médio	<b>530,88</b>	<b>77,1</b>	<b>76,0</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,079</b>	<b>44,5</b>	<b>39,3</b>	<b>0,0001</b>

PS= Pasto Sadio; PI= Pastagem com presença de plantas invasoras; PIC= Pastagem com presença de plantas invasoras e cupim; PIE= Pastagem com presença de plantas invasoras e erosão; S – desvio padrão; R<sup>2</sup> – coeficiente de determinação; R<sup>2</sup>(aj) – coeficiente de determinação ajustado; p – nível de significância.

Tabela 4: Comparação do coeficiente de ajuste das curvas [R<sup>2</sup> (aj)] das análises de Regressão Cúbica.

	MODIS-NDVI				Landsat-8			
	PS	PI	PIC	PIE	PS	PI	PIC	PIE
R <sup>2</sup> (aj)	80,3 %	69,6 %	76,8 %	76,0 %	44,7 %	55,4 %	32,3 %	39,3 %
*Média R <sup>2</sup> (aj)	75,7 %				42,92 %			

\* PS= Pasto Sadio; PI= Pastagem com presença de plantas invasoras; PIC= Pastagem com presença de plantas invasoras e cupim; PIE= Pastagem com presença de plantas invasoras e erosão; Média do coeficiente de ajuste das curvas das fisionomias de pastagens obtidas a partir das séries orbitais do MODIS e do Landsat-8.

Os resultados apontam que apesar da maior resolução das imagens orbitais do Landsat-8, as análises das séries temporais do MODIS-NDVI descrevem melhor o comportamento do pixel, explicando em média 75,6% dos dados, das diferentes fisionomias de pastagens na região da bacia do rio Uberaba, Veríssimo-MG. Assim, infere-se que o uso das imagens orbitais do MODIS-NDVI propicia maior grau de confiabilidade ao método de diagnóstico das áreas de pastagens.

Não foram encontrados estudos na literatura avaliando comparativamente a confiabilidade e eficácia do uso de imagens orbitais do MODIS e Landsat no diagnóstico e monitoramento de pastagens degradadas e sadias.

Tendo em vista, que o melhor ajuste foi obtido nas análises de regressão cúbica dos valores médios de pixel, foram descritos abaixo apenas os resultados dos valores médios do pixel.

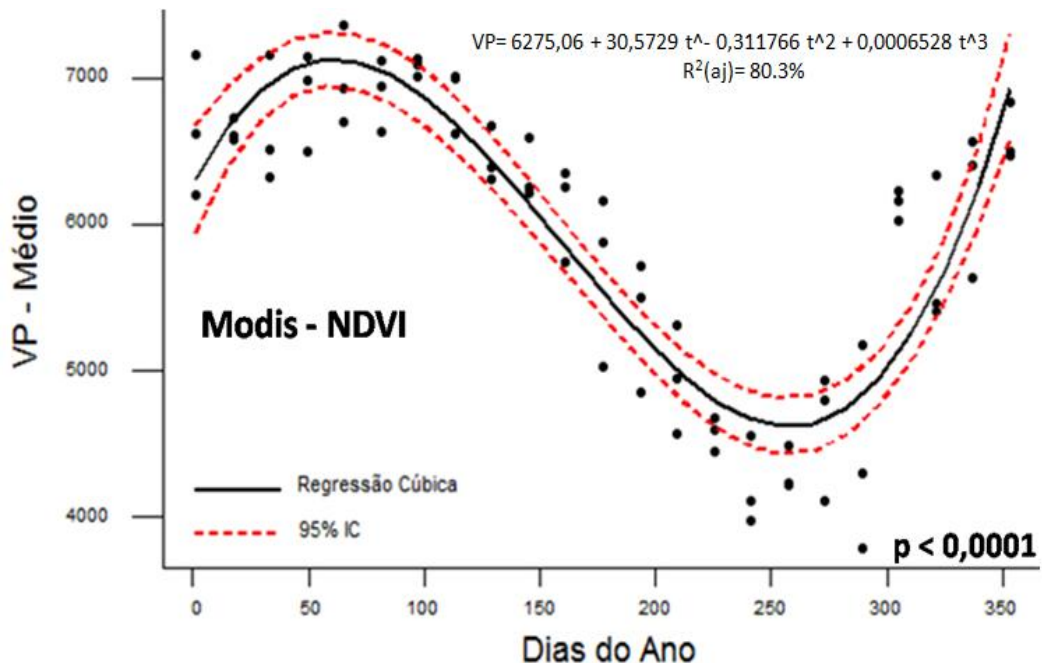


Figura 7: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pasto sadio (PS), dos dados do MODIS-NDVI, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%.

As figuras 7 e 8 apresentam os gráficos de regressão cúbica dos valores médios do pixel de PS, utilizando os dados do MODIS-NDVI e a do Landsat-8, respectivamente.

As análises da média  $\pm$  desvio padrão dos valores médios do pixel das áreas com PS, no período de 2013 a 2015, utilizando séries temporais do MODIS-NDVI, foi

de  $5932,29 \pm 999,57$  (Figura 7). Adotando, que a conversão dos níveis de cinza em NDVI é obtida pela divisão dos valores do pixel por 10.000 (SCHAAF, 2005). Assim, os valores de NDVI de PS, com base nas imagens orbitais do MOD13Q, foi de  $0,593 \pm 0,999$ . Nas análises das séries temporais do Landsat-8 foram obtidos resultados semelhantes, média de  $0,599 \pm 0,108$  (Figura 8).

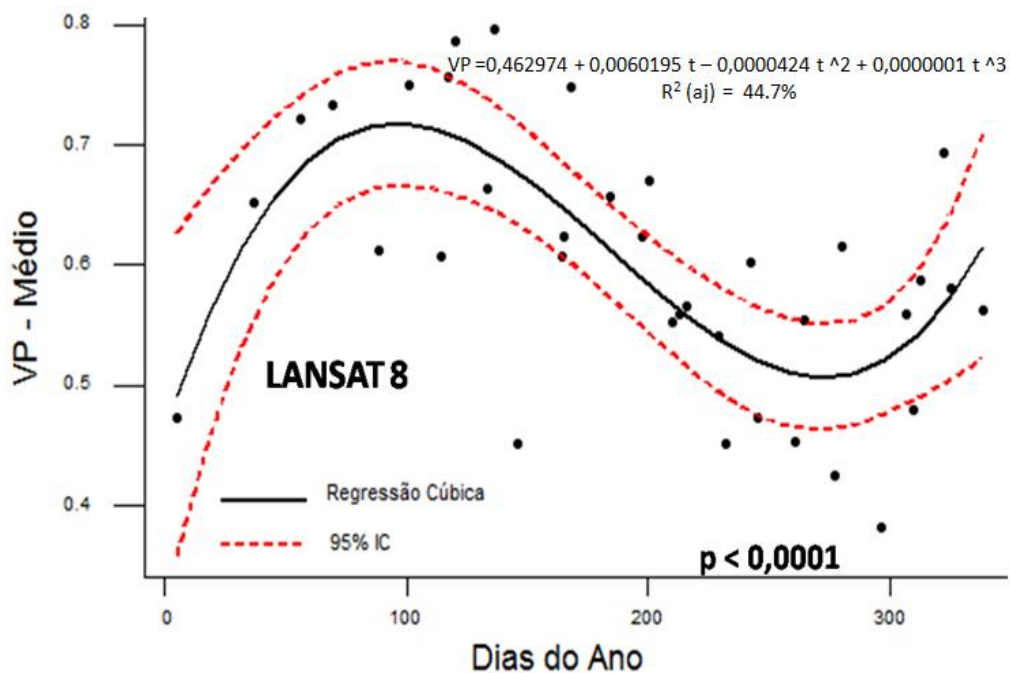


Figura 8: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pasto sadio (PS), dos dados do Landsat-8, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%.

A figura 9 apresenta imagem a campo de uma das áreas georreferenciadas e diagnosticada com presença de PS, no município de Veríssimo-MG.



Figura 9: Pasto Sadio, município de Veríssimo-MG.

**Fonte:** Acervo próprio

Os valores médios do pixel das áreas de PI, utilizando séries temporais do MODIS-NDVI, apresentou média de  $5457,42 \pm 1054,70$  (Figura 10), que convertendo em NDVI corresponde a  $0,546 \pm 0,105$ . Nas análises das séries temporais do Landsat-8 foram obtidos resultados similares, com média de  $0,574 \pm 0,098$  (Figura 12).

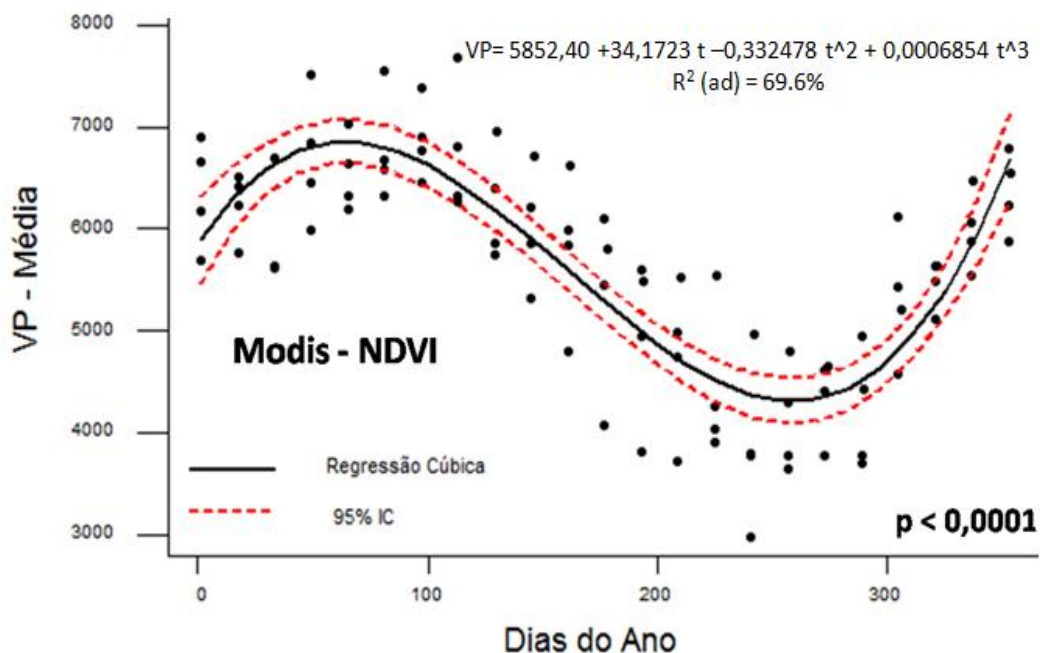


Figura 10: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras (PI), dos dados do MODIS-NDVI, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%.

A figura 11 apresenta imagem a campo de uma das áreas georreferenciadas e diagnosticada com presença de PI, no município de Veríssimo-MG.



Figura 11: Pasto com presença de invasoras (PI), município de Veríssimo-MG.

Fonte: Acervo próprio

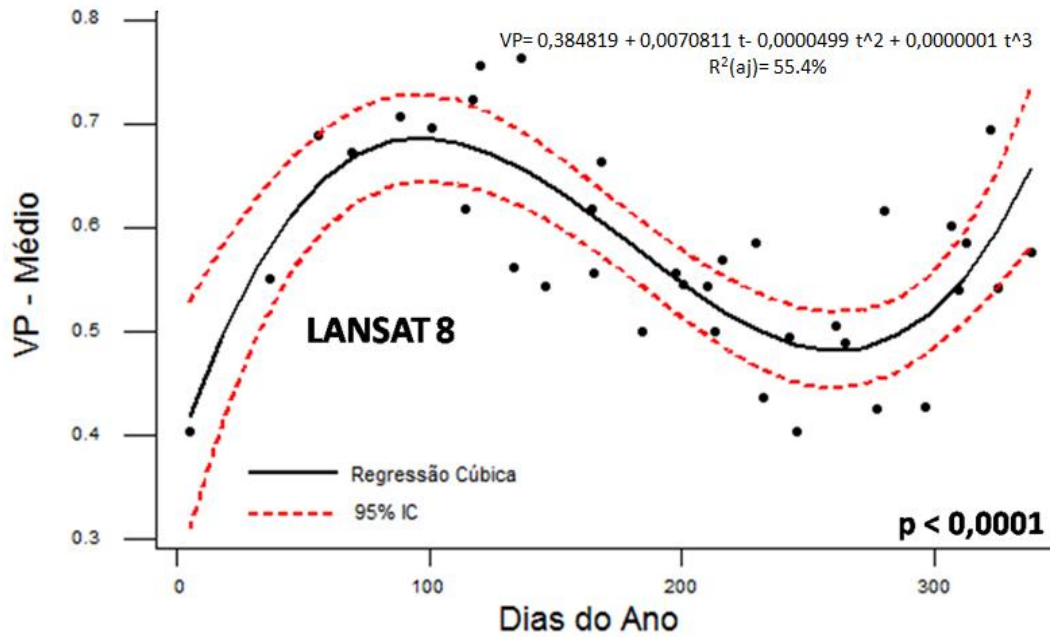


Figura 12: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras (PI), dos dados do Landsat-8, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%.

Os valores médios do pixel das áreas de PIC, utilizando séries temporais do MODIS-NDVI, apresentou média de  $5613,01 \pm 992,12$  (Figura 13), que convertendo em NDVI corresponde a  $0,561 \pm 0,099$ .

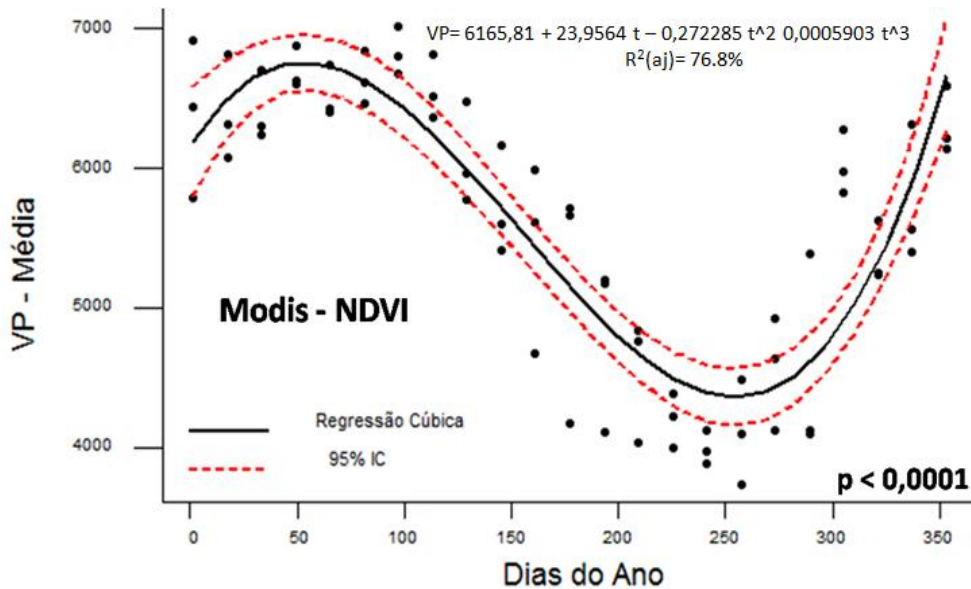


Figura 13: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras e cupim (PIC), dos dados do MODIS-NDVI, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%.



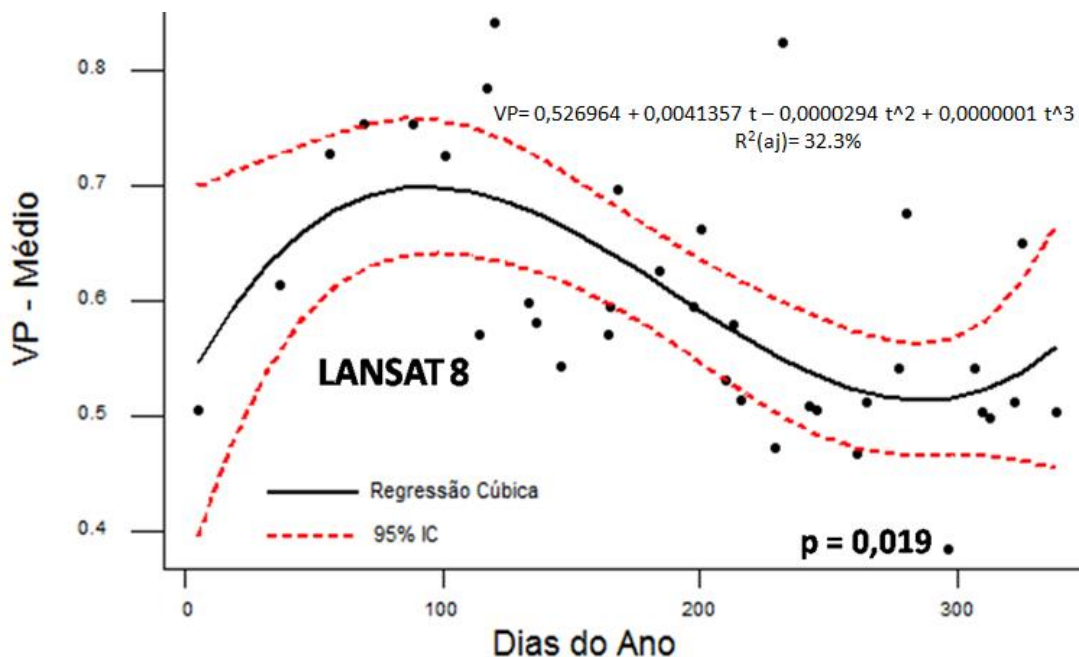


Figura 14: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras e cupim (PIC), dos dados do Landsat-8, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%.

Nas análises das séries temporais do Landsat-8 das áreas de PIC foram obtidos resultados semelhantes, com média de  $0,596 \pm 0,110$  (Figura 14).

A figura 15 apresenta imagem a campo de uma das áreas georreferenciadas e diagnóstica com presença de PIC, no município de Veríssimo-MG.



Figura 15: Pasto com presença de invasoras e cupim (PIC), município de Veríssimo-MG.

**Fonte:** Acervo próprio

As figuras 16 e 17 apresentam os gráficos de regressão cúbica dos valores médios do pixel de PIE.

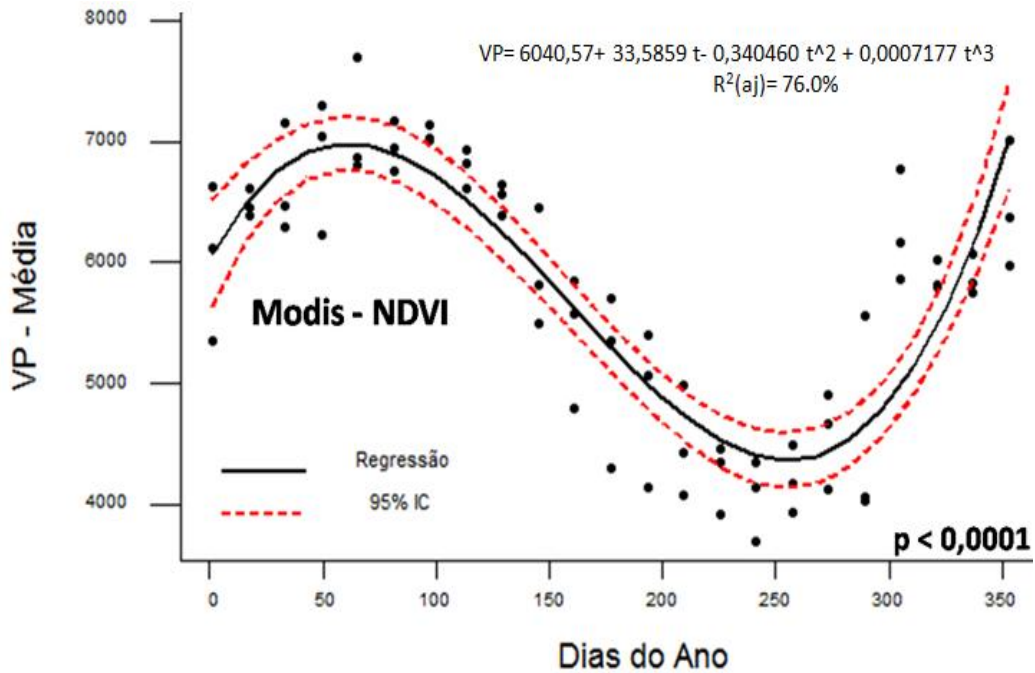


Figura 16: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras e erosão (PIE), dos dados do MODIS-NDVI, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%.

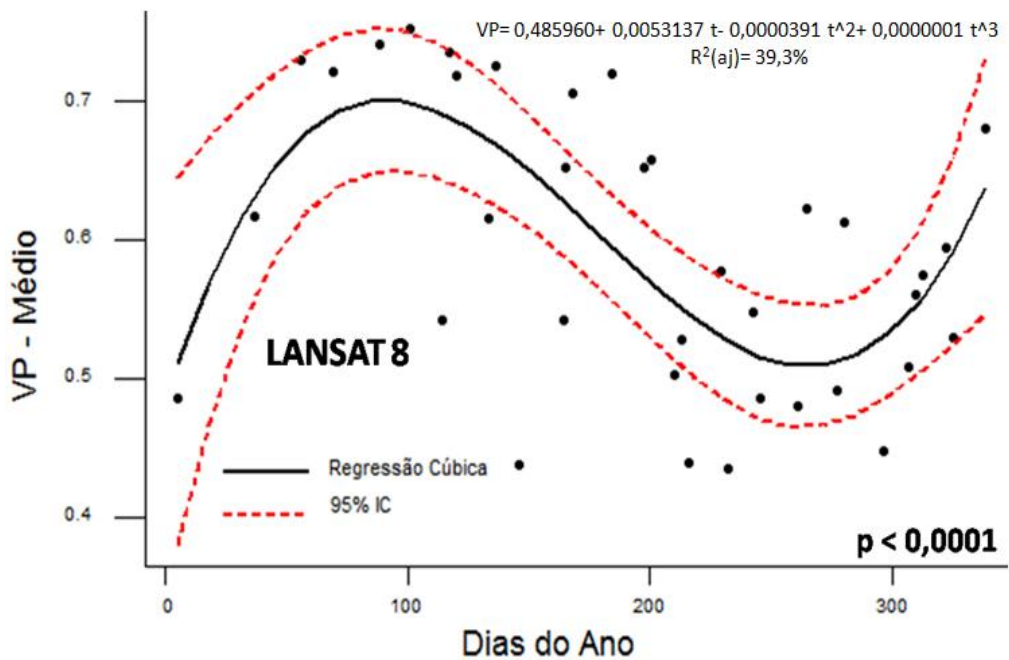


Figura 17: Regressão cúbica dos valores médios do pixel de pastagem com presença de invasoras e erosão (PIE), dos dados do Landsat-8, adotando intervalo de confiança (IC) de 95%.

Os valores médios do pixel das áreas de PIE, utilizando séries temporais do MODIS-NDVI, apresentou média de 5752,80 ± 1083,72, que convertendo em NDVI

corresponde a  $0,575 \pm 0,108$ . Nas análises das séries temporais do Landsat-8 foram obtidos resultados similares, com média de  $0,594 \pm 0,101$ .

A figura 18 apresenta imagem a campo de uma das áreas georreferenciadas e diagnosticada com presença de PIE, no município de Veríssimo-MG.



Figura 18: Pasto com presença de invasoras e erosão (PIE), município de Veríssimo-MG.

**Fonte:** Acervo próprio

No presente estudo, as imagens do MODIS apresentaram maior grau de confiabilidade no diagnóstico de pastagens degradadas. Semelhantes achados foram evidenciados por SESNIE et al. (2012), na avaliação da fenologia das vegetações forrageiras no habitat de carneiros selvagens no deserto de Sonoran, nos Estados Unidos. Ainda, COSTA E SOUZA JR (2005) também obtiveram melhores resultados no monitoramento do desmatamento na Amazônia Brasileira, com a utilização de imagens do MODIS.

## 5.2 Percentual de Perda Amostral

No período de 2013 a 2015, foram geradas e disponibilizadas anualmente 23 imagens orbitais do MODIS-NDVI (MOD13-Q1), uma a cada 16 dias, totalizando 69 séries temporais. Como as imagens são disponibilizadas com correção dos efeitos atmosféricos, não houve perda, sendo analisadas todas as imagens. Entretanto, as imagens orbitais do Landsat-8 foram geradas a partir de 24 de abril de 2013, sendo disponibilizadas 15 imagens orbitais neste ano. No ano de 2014 e 2015, foram

geradas e disponibilizadas anualmente 23 imagens orbitais, totalizando um total de 61 séries temporais.

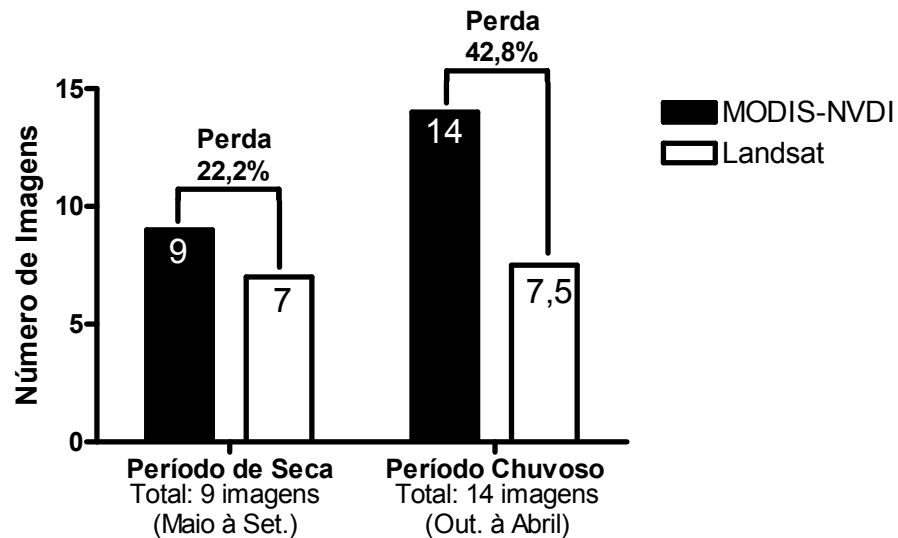


Figura 19: Comparação da média do percentual de perda amostral anual de séries temporais geradas pelo MODIS-NDVI e Landsat-8.

Segundo VERMOTE et al. (1997), as bandas do MODIS foram definidas em regiões espectrais que minimizam o impacto da absorção de gases atmosféricos. Deste modo, as imagens são ofertadas gratuitamente, com correção dos efeitos atmosféricos, sendo utilizadas para a detecção de mudanças antropogênicas e naturais na cobertura vegetal (ZAHN et al., 2002; FERREIRA et al., 2003).

Das 61 séries temporais do Landsat-8 ocorreu perda de 46,4% das imagens geradas. Como a perda está relacionada aos efeitos atmosféricos, observou média de perda anual de 42,8% nas imagens geradas no período chuvoso (Out. à Abril) e de 22,2% no período de seca (Maio à Set.), no intervalo de 2013 a 2015 (Figura 19).

Os efeitos atmosféricos, principalmente a presença de nuvens no período chuvoso, propiciou aumento da perda amostral das imagens orbitais do Landsat-8. Semelhantes resultados foram evidenciados no mapeamento do desmatamento (COSTA E SOUZA JR, 2005) e na avaliação da fenologia de vegetação forrageira (SESNIE et al., 2012).

### 5.3 NDVI das Fisionomias de Pastagens

Na comparação dos valores médios do MODIS-NDVI das diferentes fisionomias de pastagens (Figura 20), obtida pela análise de variância (ANOVA), seguida da aplicação do teste de Tukey, observou maior nível de significância nas comparações entre PS e as demais fisionomias de pastagens ( $p < 0,0001$ ). Porém, foi observada diferença estatística nas comparações entre PI, PIC, PIE ( $p < 0,001$ ).

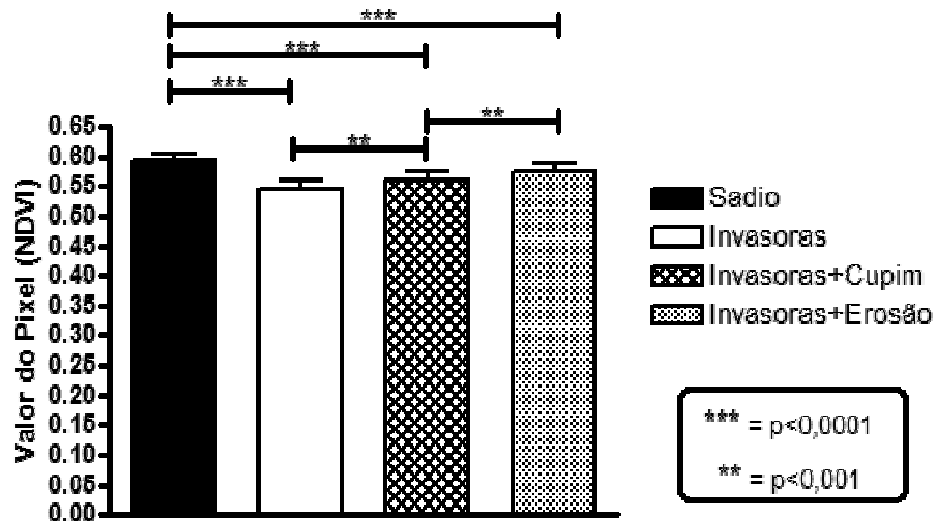


Figura 20: Comportamento do pixel nas diferentes fisionomias de pastagens.

Tabela 5: Comportamento do Pixel, NDVI e Equações de Regressão Cúbica das diferentes fisionomias de Pastagens.

Fisionomia de Pastagens	Valor do Pixel (MOD13Q1)	Valor do NDVI (MOD13Q1)	Regressão Cúbica dos Valores Médios MODIS/NDVI	
			Equação	R <sup>2</sup> (aj) (%)
PS	5932,29 ± 999,57	0,593 ± 0,099	$VP = 6275,06 + (30,5729*t) - (0,311766*t^2) + (0,0006528*t^3)$	80,3
PI	5457,42 ± 1054,70	0,546 ± 0,105	$VP = 5852,40 + (34,1723*t) - (0,332478*t^2) + (0,0006854*t^3)$	69,6
PIC	5613,01 ± 992,12	0,561 ± 0,099	$VP = 6165,81 + (23,9564*t) - (0,272285*t^2) + (0,0005903*t^3)$	76,8
PIE	5752,80 ± 1083,72	0,575 ± 0,108	$VP = 6040,57 + (33,5659*t) - (0,340460*t^2) + (0,0007177*t^3)$	76,0

PS= Pasto Sadio; PI= Pastagem com presença de plantas invasoras; PIC= Pastagem com presença de plantas invasoras e cupim; PIE= Pastagem com presença de plantas invasoras e erosão; VP=Valor do Pixel; T=Dia do Ano

O diagnóstico das diferentes fisionomias de pastagens com a utilização de séries temporais do MODIS-NDVI demonstrou ser eficiente na determinação do padrão de comportamento do pixel das áreas de pastagem no município de Veríssimo-MG. Ainda, pode-se inferir a possibilidade de classificação e de correlação com os níveis de degradação a partir de imagens orbitais do MOD13-Q1.

A tabela 5 apresenta as faixas de valores do pixel, bem com o valor do MODIS-NDVI e as equações de regressão cúbica dos valores médios, que demonstraram ser adequados para estimar o comportamento do pixel das diferentes fisionomias de pastagens ao longo do ano.

Na região do Triângulo Mineiro, Anjos et al. (2013) analisaram séries temporais de imagens orbitais do MODIS, evidenciando a eficácia do método na determinação da substituição da pastagem por outros tipos de cobertura de terras (por exemplo, culturas agrícolas e vice-versa). Santana et al. (2010) modelaram para a pastagem as mudanças fisionômicas a partir de dados do NDVI/MODIS para a bacia do rio Paracatu.

A eficácia do método de diagnóstico das fisionomias de pastagens corrobora com os achados da literatura, evidenciando que as séries temporais do NDVI/MODIS foram mais adequadas na determinação do padrão de comportamento do pixel, no município de Veríssimo-MG. Ainda, pode-se inferir a possibilidade de classificação e de correlação com os níveis de degradação a partir de imagens orbitais do MOD13Q1.

#### **5.4 Resultados dos Atributos Físicos do Solo**

Nas análises dos atributos físicos do solo dos 16 polígonos, quatro de cada fisionomia de pastagens, foram coletadas 80 amostras indeformadas, com a avaliação de densidade aparente, porosidade, umidade e textura, sendo descrito nos subcapítulos abaixo os resultados obtidos.

A tabela 6 apresenta a característica geológica e o tipo de solos dos referidos polígonos.

Tabela 6: Característica geológica e tipo de solos dos polígonos selecionados para análise comparativa das diferentes fisionomias de pastagens.

Fisionomia de Pastagens	Polígono	Geologia	Coordenada UTM-WGS 84 (Fuso 22)		Tipo de Solo
			X (mE)	Y (mS)	
PS	PS-1	Uberaba	777.948	7.821.530	Latossolo Vermelho distrófico
	PS-2	Uberaba	777.287	7.821.769	Latossolo Vermelho distrófico
	PS-3	Uberaba/Marília	783.239	7.827.340	Latossolo Vermelho distrófico
	PS-4	Marília	783.128	7.831.126	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico
PI	PI-1	Uberaba	789.040	7.814.632	Latossolo Vermelho distrófico
	PI-2	Uberaba	772.218	7.824.140	Latossolo Vermelho distrófico
	PI-3	Uberaba	782.159	7.825.267	Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico
	PI-4	Uberaba	782.313	7.826.077	Latossolo Vermelho distrófico
PIC	PIC-1	Serra Geral	787.827	7.815.515	Latossolo Vermelho distrófico
	PIC-2	Serra Geral	786.148	7.818.514	Latossolo Vermelho distroférico
	PIC-3	Serra Geral	783.260	7.822.269	Latossolo Vermelho distrófico
	PIC-4	Uberaba	782.123	7.825.133	Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico
PIE	PIE-1	Uberaba	775.510	7.822.303	Latossolo Vermelho distrófico
	PIE-2	Uberaba/Marília	782,729	7.826.737	Latossolo Vermelho distrófico
	PIE-3	Uberaba/Marília	782.972	7.826.896	Latossolo Vermelho distrófico
	PIE-4	Uberaba/Marília	783.086	7.826.971	Latossolo Vermelho distrófico

PS= Pasto Sadio; PI= Pastagem com presença de plantas invasoras; PIC= Pastagem com presença de plantas invasoras e cupim; PIE= Pastagem com presença de plantas invasoras e erosão;

#### 5.4.1 Dados da Densidade dos Solos

Na análise da densidade aparente (média  $\pm$  desvio padrão) das amostras de solos, dos polígonos das quatro fisionomias de pastagens ( Figura 21), foi obtido valor médio de  $2,53 \pm 0,09$  g/cm<sup>3</sup> para PS;  $2,61 \pm 0,08$  g/cm<sup>3</sup> para PI;  $2,51 \pm 0,20$  g/cm<sup>3</sup> para PIC; enquanto que, nas áreas de PIE foi observada média de  $2.60 \pm 0,08$  g/cm<sup>3</sup>.



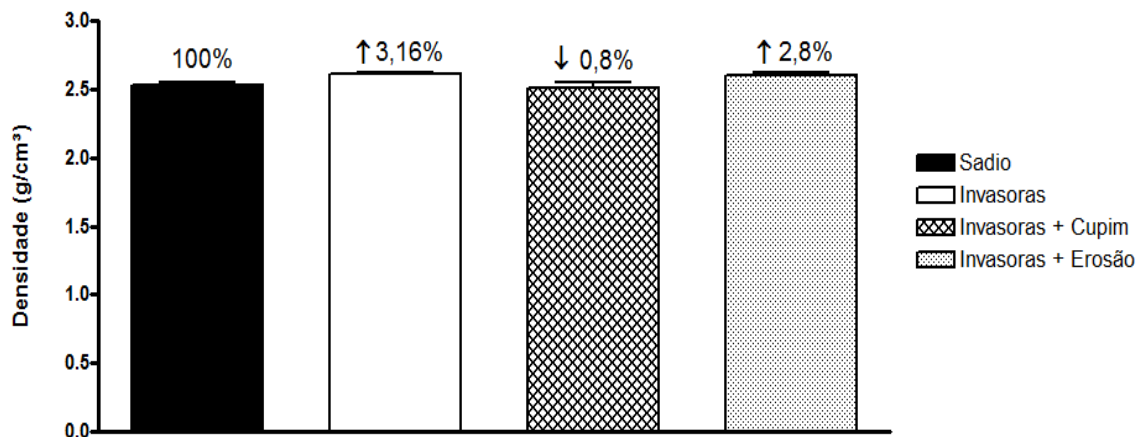


Figura 21: Densidade aparente das diferentes fisionomias de pastagens.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida de teste de Tukey, não apresentando diferença significativa nas comparações dos valores de densidade do solo das diferentes fisionomias de pastagens ( $p > 0,05$ ). No entanto, foi observado aumento de 3,16% nas áreas de PI e de 2,8% nas PIE, em comparação nas áreas de PS. Em relação as área de PIC foi observada redução de 0,8% (Figura 21).

A densidade do solo tem sido um dos principais atributos usados para avaliação do estado estrutural do solo (SPERA et al., 2004). Esta é de grande importância para os estudos agrônômicos, pois apresenta relação com o comportamento de atributos como porosidade, condutividade hidráulica, difusividade do ar, entre outros, além de ser utilizada como indicador do estado da compactação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997).

A maior densidade do solo nas áreas do cerrado pode ser decorrente do efeito do pisoteio do gado e uso de máquinas agrícolas (GOEDERT; SCHERMACK; FREITAS, 2002, SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005).

Valores críticos de densidade do solo são relacionados a condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, à infiltração e ao transporte de água, bem como às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera (FONSECA et al., 2007). Densidade entre 1,27 e 1,57 g/cm<sup>3</sup> é restritiva ao crescimento radicular e à infiltração de água no solo (CORSINI; FERRAUDO, 1999). De maneira geral, o valor de 1,40 g/cm<sup>3</sup> é aceito como limite crítico, que aumenta com o decréscimo do teor de argila do solo (SOUZA; CARNEIRO; PAULINO, 2005).



No presente estudo foram obtidos semelhantes valores da densidade do solo nas diferentes fisionomias de pastagens, os quais são superiores aos limites críticos descritos na literatura, inferindo presença de comprometimento do crescimento radicular e da infiltração de água nos solos das áreas de pastagens avaliadas.

Em áreas com presença de Latossolo Vermelho, o qual é predominante no município de Veríssimo, deve-se adotar menor limite crítico, sendo de  $1,1 \text{ g/cm}^3$  (CAMARGO E ALLEONI, 1997). Já nas áreas com presença de Latossolo Roxo deve-se adotar limite crítico de  $1,2 \text{ g/cm}^3$ , sendo evidenciado que a partir desta densidade ocorre restrição ao desenvolvimento radicular, quando o solo se encontra em capacidade de campo, caracterizando compactação do solo.

Segundo Goedert, Schermack E Freiras (2002), valores entre  $0,7$  e  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , podem ser considerados normais em Latossolo Vermelho, propondo que  $0,9 \text{ g/cm}^3$  seja o máximo permitido quando se deseja sustentabilidade no uso de Latossolos. Corsini E Ferraudo (1999) consideram que o índice crítico ao desenvolvimento radicular em solos arenosos é de  $1,75 \text{ g/cm}^3$ , e em argilosos de  $1,27 \text{ g/cm}^3$ . Tais relatos evidenciam que o nível crítico para densidade do solo varia de acordo com o solo e que não existe consenso sobre um valor específico (CARVALHO; GOEDERT; ARMANDO, 2004).

Neste contexto, os resultados apontam que todas as áreas avaliadas, independente da presença ou não de pastagens degradadas, sofreram processo de compactação do solo; proceder possivelmente do efeito do pisoteio do gado e/ou uso de máquinas agrícolas. Esse fato desencadeia, no geral, diminuição da produtividade agrícola, repercutindo em redução da oferta de forragem (MELLO FILHO et al., 2006; SANTOS et al., 2006; LIMA et al., 2007).

#### **5.4.2 Dados das Análises de Porosidades e Umidade dos Solos**

Os resultados da porosidade total, microporosidade, macroporosidade e umidade dos solos, estão apresentados na tabela 7.

A análise estatística dos dados de porosidade total, microporosidade e macroporosidade, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey, sendo identificada diferença estatística apenas na comparação dos dados de microporosidade (Figura 22).

Tabela 7: Dados dos valores médios de porosidades e umidade dos solos das diferentes fisionomias de pastagens.

Média ± DP	Porosidade Total (g/100cm <sup>3</sup> )	Microporosidade (g/100cm <sup>3</sup> )	Macroporosidade (g/100cm <sup>3</sup> )	Umidade (MPa)
<b>PS</b>	0,43 ± 0,03	0,36 ± 0,04	0,07 ± 0,05	25,05 ± 2,68
<b>PI</b>	0,42 ± 0,03	0,37 ± 0,04	0,05 ± 0,03	24,10 ± 2,83
<b>PIC</b>	0,45 ± 0,07	0,39 ± 0,06	0,06 ± 0,03	28,36 ± 9,40
<b>PIE</b>	0,42 ± 0,03	0,35 ± 0,03	0,08 ± 0,02	23,15 ± 3,01

PS= Pasto Sadio; PI= Pastagem com presença de plantas invasoras; PIC= Pastagem com presença de plantas invasoras e cupim; PIE= Pastagem com presença de plantas invasoras e erosão; DP= desvio padrão

Especificamente, na comparação de PI e PIC, em relação PIE ( $p < 0,05$ ). Em relação a estas comparações, foi observado aumento de 2,8% nas de áreas com PI; 8,3% nas áreas com PIC; enquanto que, nas áreas com PIE, ocorreu uma redução de 2,8%, em relação às áreas com presença de PS.

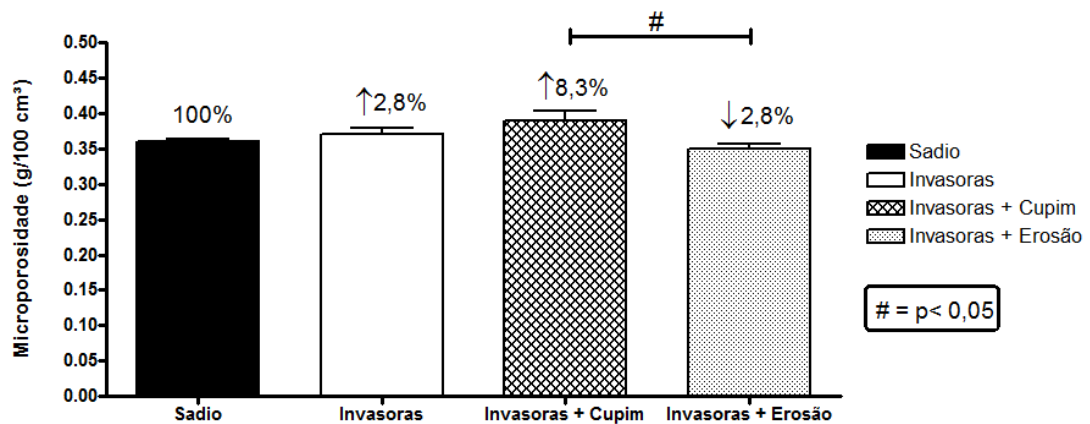


Figura 22: Microporosidade dos solos das diferentes fisionomias de pastagens

As análises da porosidade total não apresentaram diferença significativa em nenhuma das comparações ( $p > 0,05$ ), mas foi observada redução de 2,3% nas PI e nas áreas com PIE, em comparação às PS. Nos polígonos com PIC foi observado aumento de 4,6% na porosidade total dos solos (Figura 23).

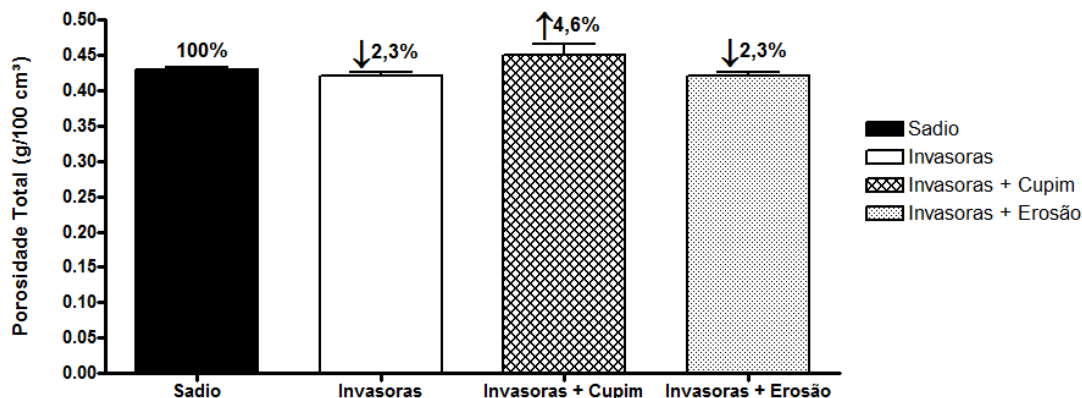


Figura 23: Porosidade total dos solos das diferentes fisionomias de pastagens

Em relação à macroporosidade foi observada redução de 28,6% nas áreas com PI e 14,3% nas áreas com PIC. Porém, nas áreas com PIE foi observado aumento de 14,3%, em comparação as áreas de PS (Figura 24).

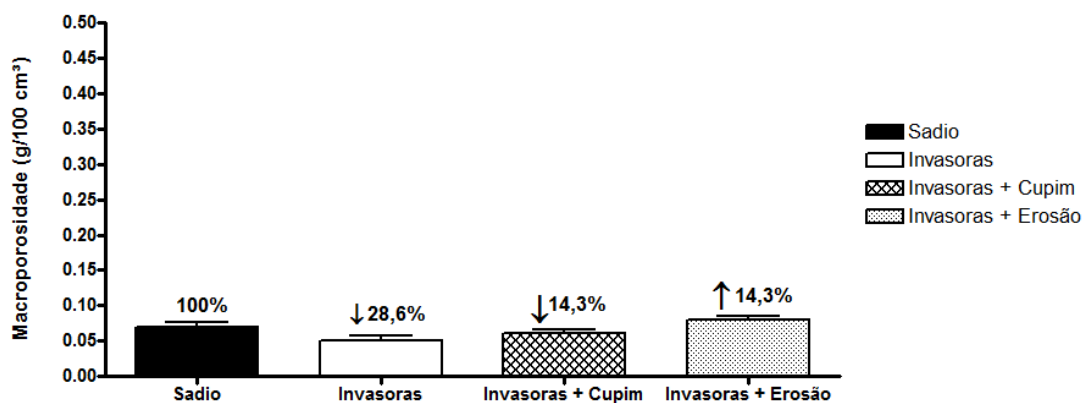


Figura 24: Macroporosidade dos solos das diferentes fisionomias de pastagens

Nas avaliações da umidade dos solos das áreas com diferentes fisionomias de pastagens (Figura 25), também foram realizadas análises de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey, sendo observada diferença significativa apenas na comparação de PIC, com PIE ( $p < 0,05$ ).

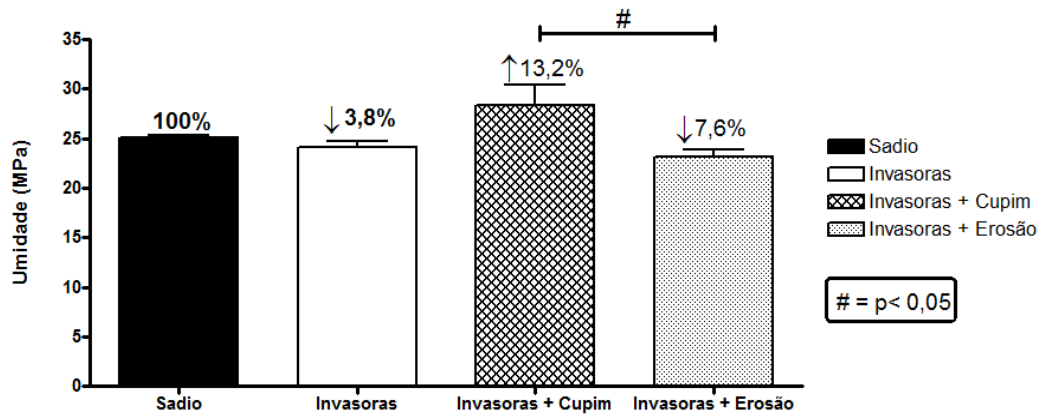


Figura 25: Umidade dos solos das diferentes fisionomias de pastagens

Percentualmente foi observada redução de 3,8% nas áreas com PI e 7,6% nas áreas com PIE. Porém, nas áreas com PIC foi observado aumento de 13,2%, em relação às áreas de PS.

As alterações causadas na porosidade do solo, além de modificar as taxas de trocas gasosas, alteram a disponibilidade de água para as plantas. Neste sentido, Silva, Libardi e Camargo (1986), em Latossolo Roxo textura argilosa e Latossolo Vermelho-Amarelo textura média, e OLIVEIRA et al. (2004), em Latossolo Vermelho distrófico, constataram que o uso do solo em relação a uma condição natural modifica a retenção de água, por alterar a distribuição de tamanho dos poros e os teores de matéria orgânica.

Quando ocorre a degradação da estrutura do solo, há modificações no arranjo de suas partículas, provocando diminuição no tamanho dos poros, especialmente daqueles com maior tamanho (macroporos), o que leva à redução na área da seção transversal para o fluxo de água, juntamente com percursos mais tortuosos para o movimento de fluido, afetando com isso o processo de infiltração (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007).

Os macroporos estão relacionados com processos vitais para as plantas, devendo ser preservados. A redução da macroporosidade tende a se refletir na porosidade total e no aumento de densidade de solo (SPERA et al., 2006). Considerando que as raízes da maioria das culturas podem crescer com macroporosidade acima de 10 % (Klein; Libardi, 2002) e que o conteúdo de água armazenada deve ser maior que o de ar, o solo ideal é aquele que apresenta

proporção de macro:microporos de 1:2, garantindo suficiente aeração, permeabilidade e armazenamento de água.

Nas áreas de pastagens avaliadas no presente estudo, observa-se maior proporção de microporos em relação aos macroporos (Tabela 8), com média geral da proporção de macro:microporos de 1:5,7. Esta alteração possivelmente apresenta relação com a diminuição da porosidade total e com o aumento de densidade do solo nas áreas avaliadas.

Tabela 8: Proporção de macro:microporos das diferentes fisionomias de pastagens.

<b>Fisionomias de pastagens</b>	<b>Proporção Média Macro: Microporos</b>	<b>Média Geral da Proporção Macro: Microporos</b>
<b>PS</b>	1 : 5,0	
<b>PI</b>	1 : 7,0	
<b>PIC</b>	1 : 6,5	1 : 5,7
<b>PIE</b>	1 : 4,4	

PS= Pasto Sadio; PI= Pastagem com presença de plantas invasoras; PIC= Pastagem com presença de plantas invasoras e cupim; PIE= Pastagem com presença de plantas invasoras e erosão.

Moreira et al. (2005) estudaram duas áreas de pastagens, uma denominada área recuperada, com pastagem produtiva de *Brachiaria brizantha*, e outra denominada área degradada, também com pastagem de *B. brizantha*, porém, já degradada, ambas em Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa. As pastagens recuperadas apresentaram maior quantidade de macroporos no solo, a partir de 7,5 cm de profundidade, com o aumento desses ao longo do perfil até 30 cm profundidade. Na camada de solo até 7,5 cm, os valores de macroporosidade foram semelhantes nas duas áreas, indicando que esse atributo foi sensível à ação do pisoteio na superfície, independentemente da maior quantidade de matéria orgânica produzida e da maior colonização do perfil do solo pelo sistema radicular da forrageira.

Tendo em vista, que as áreas de pastagens estudadas apresentam aumento da densidade do solo acima do limite crítico, às alterações da porosidade dos solos estão em conformidade com os relatos da literatura (ALVES; SUZUKI; SUZUKI, 2007, MOREIRA et al., 2005, SPERA et al., 2006). Assim, pode-se inferir que o processo de compactação propiciou aumento da densidade do solo, promovendo redução da macroporosidade e da porosidade total, com conseqüente modificação da capacidade de retenção de água.

### 5.4.3 Dados da Textura do Solo

Os resultados do percentual de argila, frações de areias e silte das amostras de solos dos polígonos das quatro fisionomias de pastagens, estão apresentadas na tabela 9 e 10.

Tabela 9: Valores médios das frações de areia dos solos das diferentes fisionomias de pastagens.

Média ± DP	Frações de Areia						
	AMF (g)	AF (g)	AM (g)	AG (g)	AMG (g)	AT (g)	% AT (%)
PS	0,09 ± 0,03	4,16 ± 0,63	1,75 ± 0,44	0,23 ± 0,12	0,07 ± 0,06	6,29 ± 0,65	62,93±6,50
PI	0,08 ± 0,05	4,75 ± 0,73	1,67 ± 0,64	0,14 ± 0,11	0,02 ± 0,01	6,67 ± 0,20	66,67±1,97
PIC	0,10 ± 0,05	4,09 ± 1,65	1,11 ± 0,69	0,08 ± 0,02	0,02 ± 0,02	5,39 ± 2,20	53,94±22,01
PIE	0,09 ± 0,04	4,08 ± 0,55	1,28 ± 0,40	0,16 ± 0,04	0,05 ± 0,04	5,66 ± 0,84	56,62±8,42

PS= Pasto Sadio; PI= Pastagem com presença de plantas invasoras; PIC= Pastagem com presença de plantas invasoras e cupim; PIE= Pastagem com presença de plantas invasoras e erosão; DP= Desvio padrão; AMF= Areia Muito Fina; AF= Areia Fina; AM= Areia Média; AG= Areia Grossa; AMG= Areia Muito Grossa; AT= Areia Total; % AT= Percentual de Areia Total

Todas as comparações das frações de areias e dos percentuais de argila e silte, dos solos das diferentes fisionomias de pastagens, foram avaliadas mediante realização de análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey, adotando nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ).

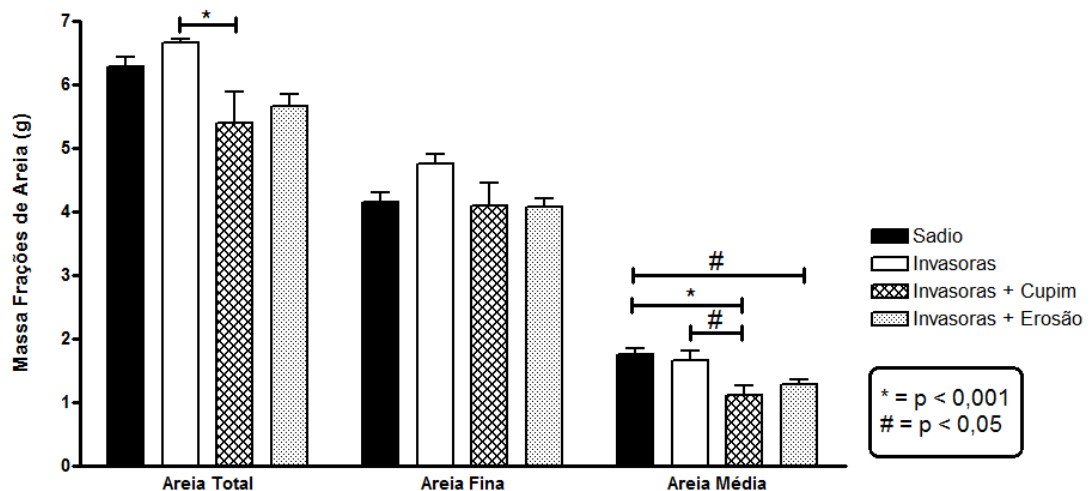


Figura 26: Areia Total (AT) e das frações de Areia Fina (AF) e Média (AM) dos solos das diferentes fisionomias de pastagens

A figura 26 apresenta o comportamento das médias da Areia Total (AT) e das frações de Areia Fina (AF) e Média (AM), sendo que apenas nas comparações das frações de AF, não foi observada diferença significativa entre as diferentes fisionomias de pastagens ( $p > 0,05$ ).

Em relação à AM, foi observada diferença significativa na comparação entre PI e PIC ( $p < 0,001$ ). A análise do percentual das médias de AM das demais fisionomias de pastagens em relação ao PS observou-se redução não significativa 4,6% na média das áreas com PI ( $p > 0,05$ ), além de redução significativa de 36,6% nas áreas de PIC ( $p < 0,001$ ) e de 26,9% ( $p < 0,05$ ) nas áreas de PIE (Figura 26).

Nas comparações da AT, também foi observada diferença significativa apenas na comparação entre PI e PIC ( $p < 0,001$ ). Na análise do percentual das médias de AT das demais fisionomias de pastagens em relação ao PS, foi observado aumento de 6,0% nas áreas de PI, redução de 14,3% nas áreas de PIC e de 10,0% nas áreas de PIE (Figura 26 e 27).

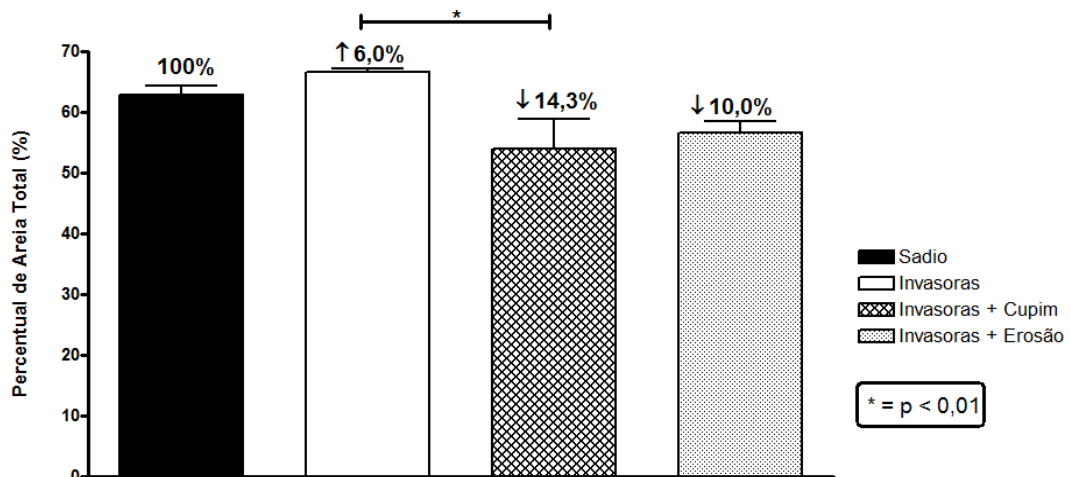


Figura 27: Percentual de Areia Total (AT) do solos das diferentes fisionomias de pastagens.

A figura 28 apresenta o comportamento médio das frações de Areia Grossa (AG), Muito Grossa (AMG) e Muito Fina (AMF), sendo que apenas nas comparações das frações de AMF, não foi observada diferença significativa ( $p > 0,05$ ).

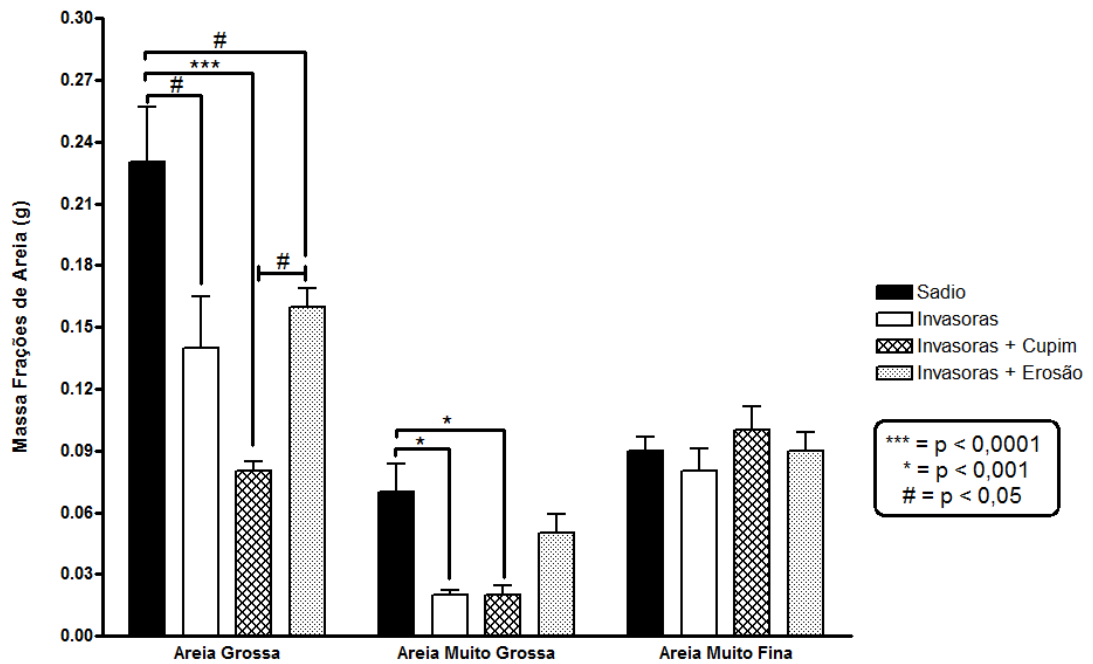


Figura 28: Frações de Areia Grossa (AG), Muito Grossa (AMG) e Muito Fina (AMF) dos solos das diferentes fisionomias de pastagens

Nas comparações de fração de AG, foi observada redução significativa em todas as comparações com o PS (Figura 28): PI redução de 39,1% ( $p < 0,05$ ); PIC redução de 65,2% ( $p < 0,0001$ ); PIE redução de 30,4% ( $p < 0,05$ ). Ainda, foi observada diferença significativa na comparação entre o PIC e PIE ( $p < 0,05$ ).

Em relação à fração de AMG (Figura 29), foi observada redução significativa na comparação do PS, com o PI e PIC. Em ambas as comparações foram observadas redução de 71,4% ( $p < 0,001$ ). Na comparação do PS com o PIE não foi observada diferença significativa, apresentando redução de 28,6% na concentração de fração de AMG ( $p > 0,05$ ).

A tabela 10 apresenta os resultados do percentual de argila e silte das amostras de solos dos polígonos das quatro fisionomias de pastagens.

Tabela 10: Valores médios do percentual de Argila e Silte dos solos das diferentes fisionomias de pastagens.

Pastagens Média $\pm$ DP	Argila (%)	Silte (%)
PS	12,63 $\pm$ 3,13	24,45 $\pm$ 7,53
PI	13,15 $\pm$ 3,56	20,18 $\pm$ 4,82
PIC	22,04 $\pm$ 13,62	24,02 $\pm$ 9,76
PIE	13,80 $\pm$ 6,42	29,58 $\pm$ 5,55

PS= Pasto Sadio; PI= Pastagem com presença de plantas invasoras; PIC= Pastagem com presença de plantas invasoras e cupim; PIE= Pastagem com presença de plantas invasoras e erosão;



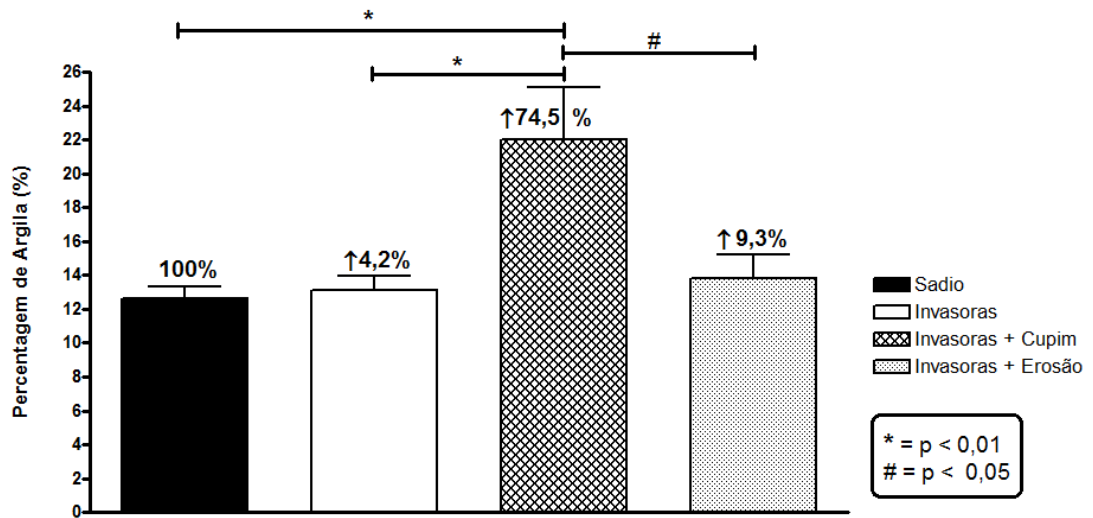


Figura 29: Percentual de argila dos solos das diferentes fisionomias de pastagens

Em relação ao percentual de argila (Figura 29), foi observada diferença significativa apenas nas comparações dos solos das áreas de PIC, com as demais fisionomias de pastagens, sendo que nas áreas de PIC observou aumento significativo de 74,5% em relação às áreas PS ( $p < 0,01$ ). Em relação às demais comparações, foram identificadas os seguintes níveis de significância: PI ( $p < 0,01$ ) e PIE ( $p < 0,05$ ). Comparativamente, as demais fisionomias de pastagens apresentaram menor percentual de argila, com base na média do PS, sendo observado aumento de 4,2% nas áreas de PI e de 9,3% nas áreas de PIE.

A figura 30 apresenta o comportamento do percentual de silte presente nas amostras de solos das diferentes fisionomias de pastagens.

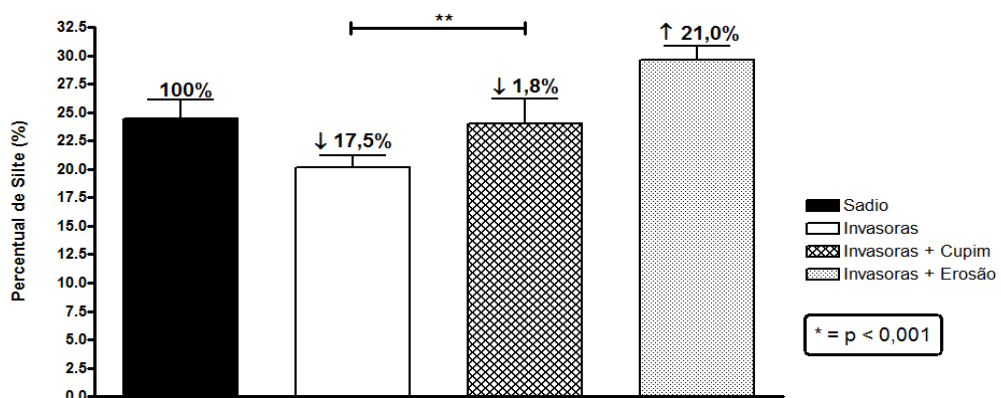


Figura 30: Percentual de silte dos solos das diferentes fisionomias de pastagens

Nas análises do percentual de silte (Figura 30) foi observada diferença estatística apenas nas comparações dos solos das áreas de PIC, com as áreas de PI ( $p < 0,001$ ). Comparando o percentual de argila das áreas de PS com as demais, observou-se redução de 17,5% nas áreas com PI, 1,8% nas áreas com PIC e aumento de aproximadamente 20% nas áreas com PIE.

No presente estudo observam-se maiores concentrações de areia total e suas frações nas áreas com presença de PS, PI e PIE, correspondendo às áreas de pastagens com menor concentração de argila. Nas áreas com presença de PIC foi observada densidade dos solos 0,8% menor que nas áreas com PS (Figura 21), conferindo porosidade total 4,6% maior (Figura 23). Ainda, nas áreas com PIC foi observado teor de argila 74,5% maior que nas áreas de PS (Figura 29). Neste contexto, os solos destas áreas apresentaram maior capacidade de retenção de água, possuindo umidade 13,2% maior que nas áreas de PS (Figura 25).

A retenção de água no solo é considerada uma avaliação adequada para estimar sua qualidade física e estrutural (MARCHÃO et al., 2007). A retenção de água do solo é característica específica de cada solo, sendo resultado de ação conjunta e complexa de vários fatores, como o teor e mineralogia da fração argila (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999), teor de matéria orgânica, estrutura e densidade do solo (BEUTLER et al., 2001).

Os solos com maior teor de argila apresentam maior permeabilidade, possuindo maior capacidade de retenção de água (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999). Assim sendo, Latossolos caulíníticos apresentaram maior densidade do solo, menor estabilidade de agregados em água, menor macroporosidade e menor permeabilidade quando comparados com Latossolos gibbíficos.

Os atributos físicos dos solos das áreas de pastagens avaliadas apresentaram grande variabilidade, mesmo dentro de uma mesma fisionomia de pastagem. Este fato, possivelmente esteja relacionado à distinta característica do relevo e formação geológica do município de Veríssimo-MG, implicando na presença de diversos tipos de solos e em diferentes níveis de degradação.

Contudo, o método de diagnóstico de áreas de pastagens degradadas, a partir de séries temporais do MOD13Q1, mostrou-se mais adequado. Entretanto, a análises dos atributos físicos revelam que todas as áreas avaliadas apresentam sinais de degradação, inclusive as áreas com presença de pasto sadio. Esta afirmação está fundamentada nos achados da densidade do solo acima dos valores

críticos descritos na literatura, conferindo condições restritivas ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, à infiltração e ao transporte de água, bem como às trocas gasosas entre o solo e a atmosfera. Ainda, foi evidenciada redução da proporção de macro:microporos, comprometendo a adequada aeração, permeabilidade e armazenamento de água.

## 6 CONCLUSÕES

O método de diagnóstico das áreas de pastagens a partir de séries temporais do MOD13Q1 foi mais adequado na determinação do padrão de comportamento do pixel ao longo do ano;

As áreas de pastagens do município de Veríssimo-MG apresentaram padrões espectrais distintos, permitindo a classificação e correlação com os níveis de degradação;

As análises dos atributos físicos revelam que todas as áreas avaliadas apresentam sinais de degradação, inclusive as áreas com presença de pasto sadio;

Os solos das diferentes fisionomias de pastagens apresentaram intenso processo de compactação, com redução da porosidade, decorrente principalmente do efeito do pisoteio do gado.

## 7 REFERÊNCIAS

- ABDALA, V. L. **Zoneamento Ambiental da Bacia do alto curso do rio Uberaba-MG como subsídio para gestão do recurso hídrico superficial**. 2005. 73f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, 2005.
- AGUIAR, M. I. **Qualidade física do solo em sistemas agroflorestais**. 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- ALMEIDA, A. M.; VALLE JÚNIOR, R. F. Diagnóstico da expansão agropecuária na bacia do rio Uberaba, Veríssimo – MG, utilizando-se do sistema de informação geográfica. **Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 46, p. 168–180, 2013.
- ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A.; SUZUKI, L. E. A. S. Densidade do solo e infiltração de água como indicadores da qualidade física de um Latossolo Vermelho Distrófico em recuperação. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, v.31, n. 4, p. 617-625, 2007.
- ANJOS, V. S.; SANO, E. E.; BEZERRA, H. S.; ROSA, R. Caracterização espectral de pastagens do Triângulo Mineiro utilizando dados MODIS EVI2 (2000-2010). **Sociedade & Natureza**, v. 25(1), p. 205-215, 2013.
- ARAÚJO, E. A.; KER, J. C.; NEVES, J. C. L.; LANI, J. L. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- ARSHAD, M. A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN, J.W.; JONES, A.J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Soil Science Society of America, p.123- 141, 1996. (Special publication, 49).
- ASNER, G.P. Cloud cover in Landsat Observation of the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, p.3855-3862, 2001.
- BEUTLER, A. N.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; PEREIRA FILHO, F. A.; CRUZ, J. C. Agregação de Latossolo Vermelho Distrófico Típico relacionada com o manejo na região dos Cerrados no Estado de MG. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, v.25, n. 1, p. 129-136, 2001.
- CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1997, p.132.
- CANDIDO, H. G. **Degradação Ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Uberaba-MG**. 2008. 96f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdades de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Jaboticabal, 2008.
- CARVALHO, R.; GOEDERT, W. J.; ARMANDO, M. S. Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agro florestal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1153-1155, 2004.

CHAER, G. M. **Modelo para determinação de índice de qualidade do solo baseado em indicadores físicos, químicos e microbiológicos**. 2001. 90f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

COLWELL, J. E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 3, n. 3, p. 175–183, 1974.

CORSINI, P. C.; FERRAUDO, A. S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macro porosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p.289-298, 1999.

COSTA, A. S.; SOUZA JÚNIOR, C. M. Comparação entre imagens Landsat ETM+ e MODIS/Terra para detecção de incrementos de desmatamento na região do baixo Acre. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 57, n. 2, p. 93-102, 2005.

CURRAN, P. J.; WARDLEY, N. W. Radiometric leaf area index. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 9, n. 2, p. 259–274, 1988.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimado por meio de parâmetros físicos e químicos**, 1990, 114 f, Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

DORAN, J. W.; PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BZEDICEK, D. F. e STEWART, B. A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, Soil Science Society of America 1994. p.3-21. (Special Publication, 35).

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª. ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 212 p, 1997.

FELLER, C.; BEARE, M.H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v.79, n.1, p.69-116, 1997.

FERREIRA, L. G.; SILVA, A. A.; JESUS, E. T.; SANO, E. E.; & SHIMABUKURO, Y. E. Monitoramento Sistemático da Cobertura Vegetal no Bioma Cerrado através dos Índices de Vegetação MODIS. **Anais XI SBSR**, Belo Horizonte, Brasil, INPE, p. 2729 – 2736, 05 – 10 abril 2003.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolo da região sudeste do Brasil. **Rev. Bras. Ciênc. do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 513-524, 1999.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2002, 97 p.

FONSECA, G. C.; CARNEIRO, M. A. C.; COSTA, A. R.; OLIVEIRA, G. C.; BALBINO, L. C. Atributos físicos, químicos e biológicos de Latossolo Vermelho Distrófico de cerrado sob duas rotações de cultura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v. 37, n. 1, p.22-30. 2007.

FORMAGGIO, A. R. **Comportamento espectral de alvos - solos**. Material do Curso de Comportamento Espectral de Alvos. XIII Curso Internacional de

Sensoriamento Remoto INPE – DSM. São José dos Campos – SP. 1999, 21 p. GATES et al., 1965

GALFORD, G.; MUSTARD, J.; MELILLO, J.; GENDRIN, A.; CERRI, C. C.; CERRI, C. E. P. Wavelet analysis of MODIS time series to detect expansion and intensification of row-crop agriculture in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 576–587. 2008.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 223-227, 2002.

GOEL, N. S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, New York, v. 4, n. 1, p. 1-212, 1988.

ISLAM, K.R.; WEIL, R.R. Soil quality indicator properties in mid-atlantic soils as influenced by conservation management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v.55, n.1 , p. 69-78, 2000.

JUSTICE, C. O., GIGLIO, L., KORONTZI, S., OWENS, J., ALLEAUME, S., MORISSETTE, J. T., ROY, D. P., PETITECOLIN, F., DESCLOITRES, J., & KAUFMAN, Y. Global fire products from MODIS. **Remote Sensing of Environment**, 83, 245– 263, 2002.

KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE,R.G.; HARRIS, R.F.; SCHUMAN, G.E. Soil quality: Aconcept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.61, n.1, p.4-10, 1997.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Rev. Bras. Ciência Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 857-867, 2002.

KUMAR, R. **Radiation from plants, reflection and emission : a review**. Lafayette, Purdue Research Foundation. (Research Project n. 5543), 88 p., 1972.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 2. ed. New York: John Wiley, 721 p., 1987.

LIMA, C. G. R.; CARVALHO, M. P.; MELLO, L. M. M.; LIMA, R. C. Correlação linear e espacial entre produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Rev. Bras.Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, v. 31, n. 6, p. 1233-1244, 2007.

MARCHÃO, R. L.; BALBINO, L. C.; SILVA, E. M.; JUNIOR, J. D. G. S.; SÁ, M. A. C.; VILELA, L. BECQUER, T. Qualidade física de um Latossolo Vermelho sob sistemas de integração lavoura-pecuária no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 873-882, 2007.

MAZZOCATO, M. E. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento urbano da bacia do rio Una**: município de São Sebastião, SP. 197 f.

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.

MELO FILHO, J. F.; OLIVEIRA, A. S.; LOPES, L. C.; VELLAME, L. M. Análise estatística exploratória e variabilidade da densidade do solo em um perfil de Latossolo Amarelo coeso dos tabuleiros costeiros da Bahia. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 2, p.199-205, 2006.

MOREIRA, J. A. A.; OLIVEIRA, I. P.; GUIMARÃES, C. B.; STONE, L. F. Atributos químicos e físicos de um Latossolo Vermelho Distrófico sob pastagens recuperadas e degradadas. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiás, v.35, n. 3, p. 155-161. 2005.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Editora Com Deus, 2001. 250 p.

NASCIMENTO, M. C.; RIVA, R. D. D.; CHAGAS, C. S.; OLIVEIRA, H.; 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

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 308 p.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESCK, D. V. S.; CURTI, N. Caracterização química e física – hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, v.28, n. 2, p. 327-336, 2004.

PINTER, JR. P. J.; JACKSON, R. D.; EZRA, C. E.; GAUSMAN, H. W. Sun-angle and canopy – architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. **International Journal of Remote Sensing**, London, **6** (12): 1813 – 1825, 1985.

PIRES, E. G.; JÚNIOR, L. G. F. Mapeamento da temperatura de superfície a partir de imagens termais dos satélites Landsat 7 e Landsat 8. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 7421-7428, 2015.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Spectral properties of vegetation**. Material do Curso de Comportamento Espectral de Alvos. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991, 15 p.

RAIJ, B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

REICHARDT, R.; TIMM, L. C. **Solo Planta Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Manole. Barueri, São Paulo. 2012. p.524.

RODRÍGUEZ, A. C. M. & MARTINS, E. R. C. Geração de Curvas de Nível a partir de Grades de MNT Provenientes de Dados do Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), Utilizando o Software SPRING no Município de São Sebastião – SP. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 11°, 2005, São



Paulo. **Anais...** São Paulo: Imagem Multimídia. Seção de Comunicação Técnicas-Científicas, 2005. p. 2386-2393. (ISBN 85-904082-9-9).

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. Proceedings... Washington, D. C.: NASA, Goddard Space Flight Center, v. 1, p. 309- 317, 1973.

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.

SAKAMOTO T, NGUYEN NV, OHNO H, ISHITSUKA N & YOKOZAWA M. Spatio-temporal distribution of rice phenology and cropping systems in the Mekong Delta with special reference to the seasonal water flow of the Mekong and Bassac rivers. **Remote Sensing of Environment**, v. 100, p. 1–16, 2006.

SALICHTCHEV, K. A. **Algumas reflexões sobre o objeto e método da Cartografia depois da Sexta Conferencia Cartográfica Internacional**. Tradução. Seleções de textos, (18); 17-24, 1988

SANO, E. E.; CHAVES, J. M.; BEZERRA, H. S.; FEITOZA, L. **Identificação dos principais tipos de pastagens cultivadas do Cerrado a partir de Sensoriamento Remoto**. International Symposium: Soil Functioning under Pastures in Intertropical Areas, 2000, Brasília. Anais... Brasília: EmbrapaCerrados – IRD, 2000. CD-ROM.

SANTANA, A. O.; CARVALHO JUNIOR, A. O.; 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**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 47-60, 2010.

SANTANA, D. P.; BAHIA FILHO, A. F. C. **Qualidade do solo: Uma visão holística**. Boletim Informativo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.27, n.2, 15-18, 2002.

SANTOS, M. L.; CARVALHO, M. P.; RAPASSI, R. M. A.; MURASHI, C. T.; MALLER, A.; MATOS, F. A. Correlação linear e espacial entre produtividade de milho (*Zea mays* L.) e atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto do Cerrado Brasileiro. **Acta Science**, Maringá, v. 28, n.3, p. 313-321, 2006.

SANTOS, V. B. **Atributos de solos sob cultivo de frutíferas em sistemas de manejo convencional, em transição e orgânico no norte do estado do Piauí**. 2010. 120f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal. 2010.

SESNIE, S. E.; DICKSON, B. G.; ROSENSTOCK, S.; RUNDALL, J. M. A comparison of Landsat TM and MODIS vegetation indices for estimating forage phenology in desert bighorn sheep (*Ovis canadensis nelsoni*) habitat in the Sonoran Desert, USA. **International Journal of Remote Sensing**, v.33, p. 276-286, 2012.

SEYBOLD, C. A.; HERRICK, J. E.; BREJDA, J. J. Soil resilienc: a fundamental component of soil quality. **Soil Science**, Baltimore, v. 164, n.4, p. 224-234, 1997.

SHORT, N. M. **Tutorial Vegetation Applications – Agriculture Forestry and Ecology**. RST, section 3. <[http:// http://fas.org/irp/imint/docs/rst/Sect3/Sect3\\_1.html](http://fas.org/irp/imint/docs/rst/Sect3/Sect3_1.html)> Acesso: Ago 2015.

SILVA, A. P.; LIBARDI, P. L.; CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, Viçosa, MG, v. 10, n. 1, p. 91-95, 1986.

SILVA, L. G.; MENDES, I. C.; REIS JUNIOR, F. B.; FERNANDES, M. F.; MELO, J. T.; KATO, E. Atributos físicos, químicos e biológicos de um Latossolo de cerrado em plantio de espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.44, n.6, p.613-620, 2009.

SIMONETT, D. S. The development and principles of remote sensing. In: \_\_\_\_\_ **Manual of remote sensing**. Falls Church, VA: American Society of Photogrammetry, 1983. v.1, p. 1-34.

SOUZA, E. D.; CARNEIRO, M. A. C.; PAULINO, H. B. Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 11, p. 1135-1139, 2005.

SOUZA, L. C. **O agronegócio da pecuária no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba: relações de poder e políticas públicas de 1990 a 2010**. 2013. 104 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Humanas e Sociais, Rio de Janeiro, 2013.

SOUZA, L. S.; SOUZA, L. D.; SOUZA, L. F. S. Indicadores físicos e químicos de qualidade do solo sob enfoque de produção vegetal: estudo de caso para citros em solos coesos de tabuleiros costeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 29. 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: UNESP:SBCS, 2003, CD-ROM

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 4, p. 1193-1200, 2006.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 533-542, 2004.

USGS (United States Geological Survey). **Landsat Mission**. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/index.php>. Acesso em: 29.out.2015.

VALLE JUNIOR, R. F.; PASSOS, A. O.; ABDALA, V. L.; RAMOS, T. G. Determinação das Áreas de Preservação Permanente na Bacia Hidrográfica do rio Uberaba – MG, utilizando o Sistema de Informação Geográfica – SIG. **Revista Global Science Technology**, v. 03, n.01 p.19 – 29, 2010a.

VALLE JUNIOR, R. F.; SANTOS, E. C.; FERREIRA, A. F.; CHAVES, L. H.; ABDALA, V. L. Diagnóstico das Áreas de Preservação Permanente na Microbacia Hidrográfica do Córrego Lanoso , Uberaba - MG, utilizando Sistema de Informação Geográfica - SIG. **Revista Global Science Technology**, v. 03, n.03 p.40 – 49, 2010b.

VERMOTE, E., EL SALEOUS, N., & JUSTICE, C. Atmospheric correction of the MODIS data in the visible to middle infrared: First results. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 97–111, 2002.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 4<sup>a</sup> ed. 1999. 123 p.

ZHAN, X.; SOHLBERG, R.A.; TOWNSHEND, J.R.G.; DIMICELI, C.; CARROLL, M.L.; EASTMAN, J.C.; HANSEN, M.C.; DEFRIES, R.S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 336-350, 2002.