



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB**

**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS APLICADAS**

**MESTRADO EM GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE AMBIENTAL**



**MIREILLE PAULA MACHADO**

**SÉRIES TEMPORAIS DO MODIS EM PASTAGENS CULTIVADAS DO  
CERRADO: COMPARAÇÃO COM DADOS  
ESPECTRORRADIOMÉTRICOS DE CAMPO**

**Dissertação nº 062**

Brasília

Março de 2014

MIREILLE PAULA MACHADO

**SÉRIES TEMPORAIS DO MODIS EM PASTAGENS CULTIVADAS DO  
CERRADO: COMPARAÇÃO COM DADOS  
ESPECTRORRADIOMÉTRICOS DE CAMPO**

**Dissertação nº 062**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas, da Universidade de Brasília, para obtenção do título de Mestre em Geoprocessamento e Análise Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Seixas Brites

Brasília

Março de 2014

MIREILLE PAULA MACHADO

**SÉRIES TEMPORAIS DO MODIS EM PASTAGENS CULTIVADAS DO  
CERRADO: COMPARAÇÃO COM DADOS  
ESPECTRORADIOMÉTRICOS DE CAMPO**

Aprovada em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Ricardo Seixas Brites  
Universidade de Brasília (orientador)

---

Dr. Edson Eyji Sano  
EMBRAPA Cerrados/IBAMA/UnB

---

Prof. Dr. Jorge Luis Silva Brito  
Universidade Federal de Uberlândia

*Às pessoas que são a minha razão  
de estar e de ter chegado até aqui,  
que fizeram (diariamente) de mim  
alguém melhor, meus pais.*

## AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela cessão da bolsa de Mestrado.

À Embrapa Cerrados, pela cessão das áreas e por acreditar neste trabalho. Aos amigos do Laboratório de Biofísica Ambiental, em especial ao Sr. Edim Borges, pelo empenho em todas as saídas de campo. Ao Heleno Bezerra e Thaise Sussane, pelo companheirismo e ideias que muito contribuíram ao desenvolvimento da pesquisa. À Natalha Costa, Giovanna Freitas e Amarílis Bezerra, pela ajuda valiosa em diversos momentos do trabalho, não me deixando sozinha no 'divã'. Às estagiárias Inajá Neiva, Ana Clara Alves e Bárbara Amado, pelo apoio nos momentos finais do trabalho prático. Ao Lúcio Feitoza e Lucas Amorim, pela atenção e paciência na cessão de diversos dados necessários ao desenvolvimento do trabalho. Ao Balbino Evangelista e Fernando Macena, pela troca de experiências e também pelos inúmeros momentos de descontração durante a realização desta pesquisa.

Ao Prof. Dr. Ricardo Seixas Brites, por ter acreditado neste trabalho. Por sua orientação, paciência e apoio necessário em todas as etapas.

Ao Prof. Roberto Rosa, pela cessão do espectrorradiômetro e direcionamento da pesquisa.

Ao Pesquisador Edson Eyji Sano, pela ajuda e participação no desenvolvimento da pesquisa, contribuindo com seus conhecimentos de forma expressiva.

Aos meus pais, que compreenderam minha saída de casa e ausência e possibilitaram com seu apoio, a realização de um sonho.

Ao meu irmão Wathson Machado, pela atenção e disponibilidade, pela revisão textual e pelo apoio incondicional.

À toda minha família e a todos aqueles que acreditaram neste trabalho.

*“Tende bom ânimo, eu venci o mundo”. João 16:33*

## RESUMO

Este trabalho se propôs a realizar um estudo da Produtividade Primária Líquida (PPL) em duas áreas de pastagens de forrageira do tipo *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, localizadas na unidade da Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF, mediante o uso de técnica de espectrorradiometria de campo a fim de comparar tais dados com aqueles obtidos a partir do uso do sensor MODIS. Para compor os dados necessários à pesquisa, além das leituras radiométricas e dados de satélite, foram selecionadas duas áreas experimentais, com diferentes tipos de solo, onde foram retiradas amostras de biomassa acima do solo e valores de radiação solar global para obtenção dos valores de radiação fotossinteticamente ativa (PAR). Com os dados coletados foi possível realizar os cálculos para definição dos índices de vegetação, eficiência fotossintética, fAPAR, APAR e PPL (Produtividade Primária Líquida). Os resultados encontrados apontam que em uma das áreas, de solo arenoso, utilizando dados de campo, 38,70% da produtividade esteve concentrada nos três meses do período seco e 61,30% no período chuvoso. Para a mesma área, com dados do MODIS, observou-se que 44,32% da produtividade esteve concentrada na seca, enquanto 55,68% foi obtida no período chuvoso. Para a segunda área estudada, de latossolo, comparando as duas técnicas empregadas, verificou-se o mesmo comportamento: 38,40% na seca quando utilizados dados de campo e 45,04% quando utilizados dados do MODIS. Para o período chuvoso os valores foram 61,60% e 54,96% para dados de campo e de satélite, respectivamente. Em valores absolutos, a PPL foi maior para o sensor MODIS do que para radiometria no mês de setembro na área de solo arenoso. Na área de solo latossolo, esse comportamento foi observado nos meses de agosto, setembro e outubro. Isso aponta para um reforço da hipótese de que o referido sensor realmente superestime os valores de NDVI nos meses de menor precipitação pluviométrica.

**Palavras-chave:** Pastagens cultivadas, Sensoriamento Remoto, Espectrorradiometria, Produtividade Primária Líquida.

## ABSTRACT

This work proposes to conduct a study of Net Primary Productivity (NPP) in two areas of pasture, both occupied by *Brachiaria brizantha* cv. Piatã, located at Embrapa Cerrados, Planaltina - DF, using a field spectroradiometry in order to compare those provided by MODIS sensor.

To compose the data needed for the research, additionally to the radiometric readings and satellite data, there were selected two experimental areas, with different types of soil, from where samples of aboveground biomass and solar radiation values were taken to obtain the values for the photosynthetically active radiation (PAR).

With the collected data, it was possible to calculate the vegetation indices, photosynthetic efficiency, FAPAR, APAR and NPP (Net Primary Productivity).

The results show that in one of the areas of sandy soil, using field data, 38.70% of the yield was concentrated in the three months of the dry season and 61.30% in the rainy season. For the same area, with MODIS, it was observed that 44.32% of the yield was concentrated in the dry, while 55.68 % was obtained in the rainy season. For the second study area, comparing the two techniques used, there was the same behavior: 38.40% of dry when used field data and 45.04 % when used MODIS data. In the rainy season, the values were 61.60% and 54.96 % for field data and satellite, respectively. In absolute values, the NPP was larger for MODIS than for radiometry in September in the area of sandy soil. In the area of latosol, this behavior was observed in the months of August, September and October. This points out to reaffirm the hypothesis that the MODIS data actually may overestimates the NDVI values during the dry season.

**Key-words:** Cultivated pastures, Remote Sensing, Spectrorradiometry, Net Primary Production.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização da área de estudo.....	17
Figura 02 – Climograma da região da Embrapa Cerrados, série histórica de 1974-2012.....	18
Figura 03 – Comportamento espectral da vegetação na faixa do visível e infravermelho do espectro eletromagnético .....	30
Figura 04 – Esquema de tomada de medidas espectrais com uso de espectrorradiômetro de campo.....	32
Figura 05 – Plataforma Terra e seus respectivos sensores .....	34
Figura 06 – Divisão por parcelas das áreas amostradas .....	41
Figura 07 – Divisão das parcelas em unidades amostrais .....	41
Figura 08 – Modelo do Espectrorradiômetro utilizado na pesquisa .....	44
Figura 09 – Curva de reflectância obtida sem a placa de referência .....	47
Figura 10 – Curva de reflectância obtida com a placa de referência.....	47
Figura 11 – Curva de reflectância típica da vegetação verde .....	48
Figura 12 – Exemplo do Aplicativo MRT durante reprojeção das imagens utilizadas.....	52
Figura 13 – Diagrama de dispersão entre NDVI e biomassa – AR.....	60
Figura 14 – Diagrama de dispersão entre NDVI e biomassa – LT.....	62
Figura 15 – Diagrama de dispersão entre EVI e biomassa – AR .....	63
Figura 16 – Diagrama de dispersão entre EVI e biomassa – LT.....	64
Figura 17 – Médias de reflectância na área 1 .....	67
Figura 18 – Médias de reflectância na área 2 .....	67

## LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Principais regiões espectrais utilizadas em Sensoriamento Remoto .....	26
Quadro 02 – Tipos de interação da radiação eletromagnética com a matéria .....	27
Quadro 03 – Especificações gerais do sensor MODIS .....	34
Quadro 04 – Especificações do sensor MODIS com aplicações para as 36 bandas .....	35
Quadro 05 – Conjunto de dados MOD13Q1 por camada .....	50
Quadro 06 – Descrição da Imagem Pixel-Reliability do produto MOD13Q1 .....	50
Quadro 07 – Descrição da imagem VI-Quality do produto MOD13Q1 .....	51
Quadro 08 – Composição das imagens MODIS utilizadas .....	52
Quadro 09 – Bandas do Landsat-8 e seus respectivos comprimentos de onda .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Dados meteorológicos obtidos pela estação SONDA .....	18
Tabela 02 – Bioma Cerrado segundo suas regiões fitoecológicas.....	21
Tabela 03 – Biomassa bruta das áreas estudadas, por tipo .....	55
Tabela 04 – Biomassa total por área amostrada .....	56
Tabela 05 – Valores de EVI obtidos por espectrorradiometria .....	57
Tabela 06 – Valores de EVI obtidos pelo sensor MODIS.....	57
Tabela 07 – Valores de NDVI obtidos por espectrorradiometria.....	58
Tabela 08 – Valores de NDVI obtidos pelo sensor MODIS .....	58
Tabela 09 – Coeficiente de Pearson para área 1 .....	60
Tabela 10 – Coeficiente de Pearson para área 2 .....	62
Tabela 11 – Coeficiente de Pearson para área 1 .....	64
Tabela 12 – Coeficiente de Pearson para área 2.....	62
Tabela 13 – Resultados de PPL obtidos a partir de dados de campo .....	69
Tabela 14 – Resultados de PPL obtidos a partir de dados MODIS.....	71
Tabela 15 – Teste t-Student aplicado nas áreas 1 e 2 para PPL e NDVI.....	73
Tabela 16 – Teste t-Student aplicado nas áreas 1 e 2 para PPL e NDVI.....	74
Tabela 17 – Biomassa – Julho (AR).....	82
Tabela 18 – Biomassa – Agosto (AR).....	83
Tabela 19 – Biomassa – Setembro (AR) .....	84
Tabela 20 – Biomassa – Outubro (AR) .....	85
Tabela 21 – Biomassa – Novembro (AR) .....	86
Tabela 22 – Biomassa – Dezembro (AR).....	87
Tabela 23 – Biomassa – Julho (LT) .....	89
Tabela 24 – Biomassa – Agosto (LT).....	90
Tabela 25 – Biomassa – Setembro (LT).....	91
Tabela 26 – Biomassa – Outubro (LT).....	92
Tabela 27 – Biomassa – Novembro (LT) Biomassa.....	93
Tabela 28 – Biomassa – Dezembro (LT).....	94
Tabela 29 – Pontos percentuais da distribuição de t-Student .....	98

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 01 – Total da Biomassa bruta mensal.....	56
Gráfico 02 – Total da Biomassa mensal, por área amostrada .....	57
Gráfico 03 – EVI obtido pelas duas técnicas empregadas.....	66
Gráfico 04 – NDVI obtido pelas duas técnicas empregadas .....	66
Gráfico 05 – Relação entre NDVI e Biomassa para área 1 .....	58
Gráfico 06 – Relação entre NDVI e Biomassa para área 2 .....	59
Gráfico 07 – Relação entre EVI e Biomassa para área 1.....	61
Gráfico 08 – Relação entre EVI e Biomassa para área 2.....	63
Gráfico 09 – Médias de radiação solar e PAR .....	65
Gráfico 10 – PPL obtida por meio de dados de radiometria .....	70
Gráfico 11 – PPL obtida por meio de dados do MODIS.....	71
Gráfico 12 – Biomassa seca total mensal – AR.....	88
Gráfico 13 – Biomassa verde total mensal – AR.....	88
Gráfico 14 – Biomassa seca total mensal –LT .....	95
Gráfico 15 – Biomassa verde total mensal – LT .....	95
Gráfico 16 – Biomassa seca total AR e LT .....	96
Gráfico 17 – Biomassa verde total AR e LT .....	96
Gráfico 18 – Biomassa total AR e LT – por unidade amostral .....	97
Gráfico 19 – Biomassa total AR e LT – mensal.....	97

## LISTA DE FOTOS

Foto 01 – Área 1 – pastagem em solo neossolo quartzarênico (AR) .....	19
Foto 02 – Área 2 – pastagem em latossolo vermelho amarelo (LT) .....	19
Foto 03 – Gabarito utilizado para marcação das amostras .....	42
Foto 04 – Separação da biomassa em material seco e verde .....	43
Foto 05 – Acondicionamento das amostras na estufa.....	43
Foto 06 – Leitura espectrorradiométrica realizada em campo .....	45

## LISTA DE SIGLAS

APAR	Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida
APARac	Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida Acumulada
AR	Área 1, de solo Arenoso
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
CERES	Clouds and the Earth's Radiant Energy System
DF	Distrito Federal
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EOS	Earth Observing System
EVI	Enhanced Vegetation Index
FAO	Food and Agriculture Organization
fAPAR	Fração de Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida
GPS	Global Positioning System
HDF	Hierarchical Data Format
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFOV	Instantaneous Field OfView
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IRP	Infravermelho próximo
LT	Área 2, de solo Latossolo
MISR	Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MRT	MODIS Reprojection Tool
NASA	National Aeronautic and Space Administration
NDVI	Índice de Vegetação Diferença Normalizada
PPL	Produtividade Primária Líquida
PAR	Radiação Fotossinteticamente Ativa
PROBIO Brasileira	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira

REM	Radiação Eletromagnética
RVI	RatioVegetation Index
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SONDA	Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais
TM	Thematic Mapper
Rs	Radiação solar global na superfície ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ dia)
$\epsilon_f$	Eficiência fotossintética

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	04
RESUMO .....	06
ABSTRACT .....	07
LISTA DE FIGURAS .....	08
LISTA DE QUADROS .....	09
LISTA DE TABELAS .....	10
LISTA DE GRÁFICOS.....	11
LISTA DE FOTOS.....	12
LISTA DE SIGLAS .....	13
INTRODUÇÃO.....	15
1. ÁREA DE ESTUDO .....	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1 Pastagens cultivadas .....	22
2.2 Biomassa.....	24
2.3 Espectrorradiometria.....	25
2.4 Comportamento espectral da vegetação .....	28
2.5 O Sensor MODIS.....	33
2.6 Produtividade Primária Líquida e Eficiência Fotossintética .....	36
3. METODOLOGIA .....	41
3.1 Biomassa.....	42
3.2 Espectrorradiometria.....	44
3.3 Produtividade Primária Líquida e Eficiência Fotossintética .....	48
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1 Biomassa.....	55
4.2 Índices de Vegetação – EVI e NDVI.....	57
4.3 Relação entre a biomassa e os índices de vegetação .....	59
4.4 Reflectância .....	66
4.5 Produtividade Primária Líquida (PPL) .....	68
4.5.1 PPL a partir de dados espectrorradiométricos de campo.....	68
4.5.2 PPL a partir de dados do sensor MODIS.....	70
4.5.3 Análise estatística .....	72
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	75
REFERÊNCIAS .....	77

## INTRODUÇÃO

O Bioma Cerrado ocupa uma área de 204,7 milhões de hectares, é o segundo mais devastado do país, possuindo apenas 5,2% de sua área protegida por lei, na forma de parques e unidades de conservação, de acordo com dados do PROBIO – Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – (SANO et al, 2010). Ainda de acordo com os resultados obtidos pelo PROBIO, as pastagens cultivadas ocupam 54,2 milhões de hectares, o que equivale a 26,45% do Cerrado.

Segundo Ferreira et al (2012), pastagens cultivadas são a unidade dominante de uso da terra no Brasil. Estima-se que, entre 1980 e 2005, a área de pastagens no Brasil tenha aumentado 151%. Mais de 170 milhões de hectares da área agrícola do país está ocupada por pastagens, segundo último Censo Agropecuário realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) em 2007.

As pastagens tem sido muito estudadas mediante o uso de técnicas de sensoriamento remoto para avaliar e quantificar sua produtividade. Devido à alta sazonalidade das regiões do bioma Cerrado, as pastagens apresentam comportamento bastante diverso ao longo do ano e com respostas espectrais também diferentes de acordo com sua feição. Por este motivo, o trabalho desenvolvido baseou-se na comparação de dados obtidos pelo satélite MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) com levantamentos espectrorradiométricos de campo. A partir dessa técnica, é possível medir a energia eletromagnética refletida em diferentes comprimentos de onda de uma determinada superfície e sua representação é feita por meio de gráficos.

Esse tipo de técnica se faz importante devido a alguns fatores tais como a eliminação do efeito da atmosfera na coletada de dados, o controle quanto ao dado coletado em relação à cobertura de nuvens, controle da distância entre o alvo e o sensor, controle do ângulo de obtenção dos dados e da iluminação (quando realizada em laboratório), o que permite a exclusão de fontes de variação durante a obtenção dos dados.

A *Brachiaria* é uma planta perene e vigorosa, podendo alcançar até 1m de altura, seu florescimento se dá por toda estação chuvosa. Foi introduzida no país há aproximadamente 60 anos, mas sua expansão nas áreas de Cerrado ocorreu apenas entre as décadas de 1970 e 1980. Atualmente é o capim mais plantado no Brasil e sua aplicação está relacionada principalmente a engorda de animais. Esse uso está intimamente ligado às questões econômicas, uma vez que

as pastagens nativas apresentam baixo rendimento de forragem, gerando assim perda de peso nos animais quando da época de seca. A *Brachiaria* apresentou fácil adaptação em áreas de clima quente e diferentes condições de solo, daí sua larga utilização no Cerrado.

A pesquisa tem como objetivo a obtenção da Eficiência Fotossintética ( $E_f$ ) e Produtividade Primária Líquida (PPL) das pastagens a partir dos dados de espectrorradiometria e do sensor MODIS.

Esta pesquisa tem como objetivos específicos:

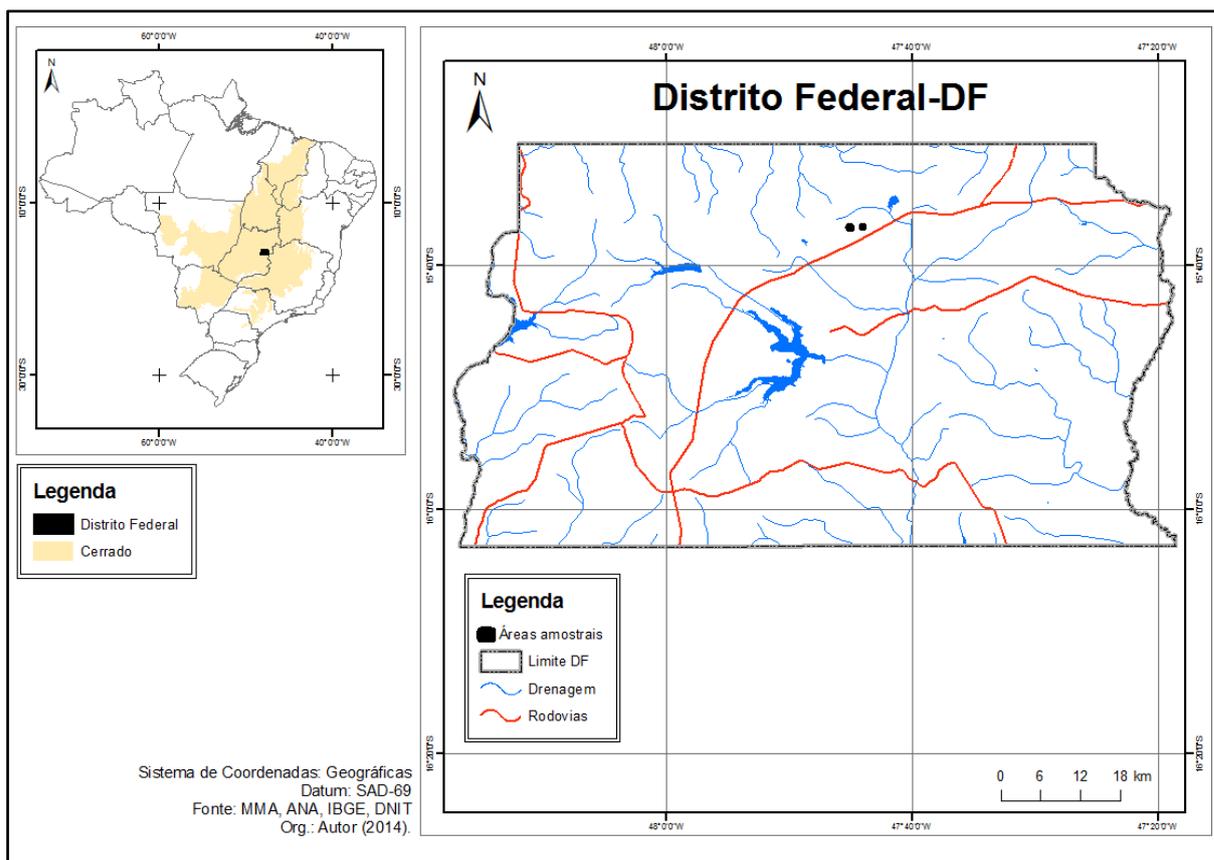
- ✓ Comparar valores de EVI e NDVI obtidos por espectrorradiometria de campo e a partir de dados do sensor MODIS;
- ✓ Estimar a Produtividade Primária Líquida (PPL) das áreas estudadas a fim determinar se os mesmos são corretos, superestimados ou subestimados.

Com o intuito de responder a tais questionamentos, foi montado um experimento de campo onde foram coletadas amostras de espectrorradiometria e biomassa. A estratégia de análise foi a comparação de EVI, NDVI de fonte radiométrica e MODIS, mediante o uso de dados de radiação solar, que define a PAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa), e biomassa, que determina a matéria seca.

## 1. ÁREA DE ESTUDO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Embrapa Cerrados localizada em Planaltina-DF mediante a cessão de duas áreas de pastagem com gramíneas da espécie *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã (figura 01).

Figura 01: Localização da área de estudo



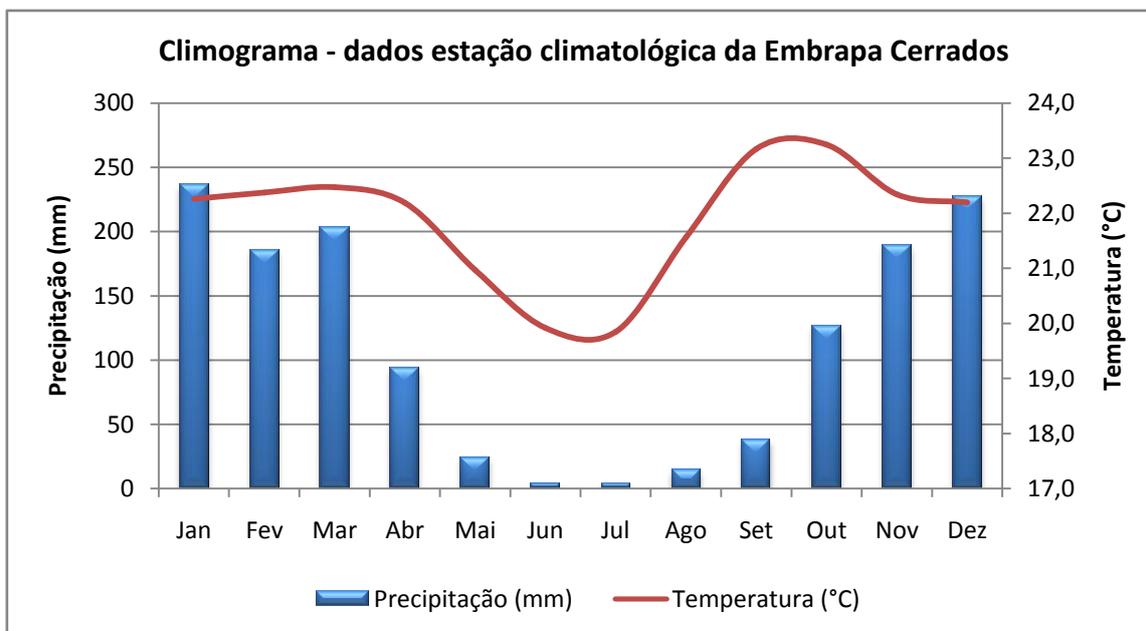
A região caracteriza-se por clima tropical chuvoso, tipo Aw (de acordo com a classificação de Köppen) com médias anuais de 1500 mm e temperatura média de 21,9°C – dados da série histórica da estação climatológica localizada na unidade da Embrapa Cerrados, figura 02. O período seco está concentrado entre os meses de abril e setembro e o período chuvoso entre outubro e março. Os dados de radiação, temperatura e precipitação para o período de estudo estão apresentados na tabela 01.

Tabela 01: Dados meteorológicos obtidos pela estação SONDA

Dados Estação SONDA			
Embrapa Cerrados - Planaltina-DF			
	Radiação média (MJ/m <sup>2</sup> dia)	Temperatura Média (°C)	Precipitação (mm)
Julho	18,34	20,7	0,0
Agosto	21,02	22,6	1,3
Setembro	20,46	24,4	38,9
Outubro	21,18	22,7	149,3
Novembro	19,90	22,1	242,7
Dezembro	18,43	21,4	343,4

Fonte: SONDA (INPE), 2013.

Figura 02: Climograma da região da Embrapa Cerrados, série histórica de 1974-2012



Fonte: Estação climatológica, Embrapa Cerrados.

Os experimentos situam-se a uma altitude de 1150m e estão inseridos em áreas de fitofisionomias do Cerrado que, antes do uso atual, eram denominadas como campo limpo. De acordo com Silva (2006), o termo Cerrado, de origem espanhola, significa “fechado” ou “vegetação densa”, e busca traduzir a característica geral da vegetação arbustivo-herbácea densa que ocorre na formação savânica.

O Cerrado apresenta diferentes fitofisionomias em toda sua extensão, que pode variar do que é denominado como Cerradão, Cerrado típico (ou *Strictu senso*), Campo Sujo, Campo Limpo,

Campo Cerrado, Mata Mesofítica, Mata de Galeria e Vereda. A diferenciação destas fitofisionomias é feita basicamente pela comparação das características estruturais, a própria fisionomia delas e suas mudanças sazonais. É conhecido por sua rica biodiversidade, sendo que 5% da fauna e flora mundial estão concentrados neste bioma de acordo com o Almanaque Brasil Socioambiental (2008). Sendo também importante hidrologicamente, pois na área do Cerrado estão localizadas nascentes que formam três importantes bacias hidrográficas brasileiras, a Amazônica, São Francisco e Paraná.

Os tipos de solo nas áreas estudadas são classificados como Arenoso (neossolo quartzarênico) e Latossolo (latossolo vermelho-amarelo de textura argilosa), denominadas neste trabalho pelas siglas AR (arenoso) e LT (latossolo), fotos 01 e 02, respectivamente, tendo cada uma, área de 0,2 ha.

Foto 01: Área 1 – pastagem em neossolo quartzarênico (AR)



Foto 02: Área 2 – pastagem em latossolo vermelho amarelo (LT)



Na unidade da Embrapa Cerrados observam-se quatro classes geomorfológicas: chapada, encosta, várzea e colúvio. Os experimentos estão localizados em áreas de chapada, que representam mais de 50% da superfície da unidade (SILVA, 2004).

Ainda de acordo com o autor, mais de 87% da área da unidade da Embrapa Cerrados apresenta classes entre 0% e 5% de declividade.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Cerrado abrange cerca de 204 milhões de hectares do território brasileiro, as pastagens cultivadas ocupam 26,45% deste bioma, o equivalente a 54,2 milhões de hectares, de acordo com dados do PROBIO – Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – (SANO et al, 2010), conforme tabela 02.

Tabela 02: Bioma Cerrado segundo suas regiões fitoecológicas

<b>Caracterização do bioma Cerrado por Região Fitoecológica agrupada</b>		
<b>Região Fitoecológica</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>%</b>
Vegetação Nativa Florestal	751.943,49	36,73
Vegetação Nativa Não-Florestal	484.827,26	23,68
Áreas Antrópicas	256.521,51	12,53
Pastagem cultivada	541.470,20	26,45
Água	12.383,88	0,6
<b>Total</b>	<b>2.047.146,35</b>	<b>100</b>

Fonte: PROBIO-MMA, 2010 (adaptado)

Em termos de biodiversidade, o Cerrado é considerado o bioma mais rico e provavelmente o que sofre maior pressão quanto à utilização da terra, devido principalmente à expansão da fronteira agrícola ocorrida a partir dos anos 1970, baseada em ações governamentais, tais como o POLOCENTRO (Programa de Desenvolvimento do Cerrado), instituído pelo Decreto federal nº 75.320, de 29/01/1975, que previa a ocupação racional de áreas de Cerrado, bem como realizar seu aproveitamento em caráter empresarial, consistindo num conjunto de pesquisa, assistência técnica, crédito rural, infra-estrutura de apoio, entre outros; e o PRODECER (Programa de Cooperação Nipo-brasileira para o Desenvolvimento do Cerrado), onde, em uma junção de interesses, Japão e Brasil instituíram o programa em 1974, que estabelecia a relação entre estes países no que diz respeito ao desenvolvimento agrícola. Os objetivos do programa foram: o estímulo ao aumento da produção de alimentos, o desenvolvimento regional do Brasil e o desenvolvimento da região do Cerrado. O programa é supervisionado pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e considerado o maior em agricultura sustentável do mundo (CAMPO-BRASIL).

Estima-se que entre 1980 e 2005 a área de pastagens no Brasil, aumentou 151% (ALVIN et al, 2005). Segundo o Censo Agropecuário realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de

Geografia e Estatística, 2006), mais de 170 milhões de hectares da área agrícola do país estão ocupados por pastagens.

O Brasil possui o segundo maior rebanho do mundo, com aproximadamente 200 milhões de cabeças de gado e é o maior exportador de carne bovina no mundo. As cadeias produtivas de carne e leite no Brasil movimentam cerca de R\$ 67 bilhões anualmente, o que evidencia sua importância econômica e social no país. Praticamente toda a sua produção se dá por meio de pastagens de gramíneas e forrageiras. Tendo isso em vista, nota-se que há uma deficiência de informações a respeito da qualidade, manejo e localização, que auxiliem diferentes instituições, públicas e privadas, na tomada de decisões que promovam o incremento da qualidade das pastagens, pois estima-se que 90% de toda carne produzida no Brasil seja originária de rebanhos de pasto, ocupando em torno de 20% do território brasileiro.

## **2.1 Pastagens cultivadas**

De acordo com Ferreira et al (2012), as pastagens cultivadas são a unidade de uso dominante da terra no Brasil, foram introduzidas a partir da década de 1970 e sua adaptação ao Cerrado se deu de forma satisfatória, possibilitando o aumento da produtividade e ganho de peso dos animais, em face da sua capacidade de produção de biomassa em relação às pastagens naturais. Os gêneros de forrageiras mais utilizadas em pastagens cultivadas são oriundos da África e denominados como *Brachiaria*, *Panicum* e *Andropogon*.

A pastagem pode ser entendida como um ecossistema, onde há um conjunto de organismos em um ambiente físico e químico realizando associações entre os componentes bióticos (plantas e animais) e abióticos (solo, água, nutrientes e atmosfera). Segundo Nascimento Júnior e Adese (2004, p. 291), há uma “baixa eficiência de utilização da energia solar disponível, em que apenas 0,10% do total da radiação incidente (0,22% da Radiação Fotossinteticamente Ativa) é transformado em biomassa acima do solo”. Este é um dos fatores apontados pelos autores como agente causador de perda de energia do sistema. Os outros dois fatores citados por eles são a perda em decorrência da baixa eficiência do processo de pastejo, em função da seletividade, por exemplo; e a perda pelo uso da energia ingerida na manutenção corporal ou perdida na forma de gases, fezes e urina.

A *Brachiaria* é uma planta perene e vigorosa, seu florescimento se dá por toda estação chuvosa. Foi introduzida no país há aproximadamente 60 anos, mas sua expansão nas áreas de Cerrado ocorreu apenas entre as décadas de 1970 e 1980, e possuindo fácil adaptabilidade em

áreas de clima quente e diferentes condições de solo. Atualmente é o capim mais plantado no Brasil e sua aplicação está relacionada principalmente a engorda de animais. Este uso está intimamente ligado às questões econômicas, uma vez que as pastagens nativas apresentam baixo rendimento de forragem, gerando assim perda de peso nos animais quando da época de seca.

Baseado em um processo gradativo de degradação de inúmeras áreas de pastagens em todo o Cerrado, o que reduz consideravelmente os lucros dos produtores, as pesquisas relacionadas à produtividade e manejo adequado de pastagens tem ganho cada vez mais importância, uma vez que a agropecuária é a base econômica de diversos municípios do Cerrado.

No início dos anos 1990, a *Brachiaria* já assumia importância no cenário nacional. Souza (1991), afirmou que as pastagens cultivadas com espécies do gênero *Brachiaria* no Brasil se tornaram tão expressivas nos 20 anos anteriores que passaram da condição de espécie desconhecida à base da alimentação de uma boa parte do rebanho brasileiro, principalmente em áreas de Cerrado.

As áreas selecionadas nesta pesquisa compreendem a cultivar *Brachiaria brizantha* cv. BRS Piatã, conhecida como Capim-Piatã, lançada pela Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) em 2006 como mais uma opção à diversificação das pastagens.

O Capim-Piatã tem sido apontado por vários pesquisadores como alternativa à cultivar *Brachiaria brizantha* cv. Marandú, pois mesmo diante de sua grande capacidade adaptativa às condições pedológicas e climáticas brasileiras, sobretudo do Cerrado, esta cultivar passou pelo que foi denominado como “Síndrome da morte do capim Marandú” (Doc 163 Embrapa), trazendo grandes prejuízos ao setor pecuário. De acordo com este documento, o problema foi gerado principalmente por sua perda da capacidade produtiva, pelo plantio e manejo inadequados, que levam a altos níveis de degradação.

O Capim-Piatã, é uma planta de crescimento ereto e cespitoso (formam touceiras), de porte médio, com altura entre 0,85 m e 1,10 m, é apropriada para solos de média a alta fertilidade, adapta-se muito bem a solos bem drenados e apresenta maior tolerância a solos com má drenagem do que o Capim Marandú, pois suas raízes possuem característica radicular e profunda. No entanto não tolera bem solos encharcados e/ou alagados. (Embrapa, 2009). De acordo com Rosa (2013), sua produção de matéria seca varia entre 15 a 20 ton/ha/ano com tempo de formação em torno de 90 a 120 dias, após a germinação. Apresenta-se resistente às cigarrinhas típicas de pastagem *Notozulia entreariana* e *Deois flavopicta*.

Euclides et al (2005) realizaram uma comparação do Capim-Piatã com outras cultivares de *Brachiaria brizantha* (Capim-Xaraés e o Capim Marandú) e observaram maiores ganhos de peso por animal. Durante a época seca houve um ganho de peso nos animais de 349 g/dia (Capim-Piatã), 286 g/dia (Capim-Xaraés) e 312 g/dia (Capim Marandú), indicando maior qualidade do Capim-Piatã no processo de engorda dos animais.

Valle et al (2007) também destacaram que o Capim-Piatã apresenta florescimento precoce, no início do verão, com maior acúmulo de folhas do que os capins Xaraés e Marandú, e que, apesar de apresentar menor produção forrageira que o capim Xaraés, seus colmos são mais finos, o que favorece o manejo na época seca.

## 2.2 Biomassa

A disponibilidade de forragem deve ser entendida como a biomassa aérea viva acumulada durante o processo de crescimento das plantas que compõem a pastagem.

Biomassa é a quantidade de matéria orgânica viva encontrada em determinado tempo e área, é apresentada na literatura em termos de matéria seca e expressa em g/m<sup>2</sup> ou kg/m<sup>2</sup>.

De acordo com Franco e Rosa (2003), a quantidade da biomassa encontrada em uma pastagem é inversamente proporcional ao nível de degradação, ou seja, quanto menos degradada estiver uma pastagem, maiores serão os valores de biomassa. Assim é possível determinar por meio da biomassa a condição em que se encontra uma pastagem. Segundo estudos realizados pela Embrapa, é recomendado que uma pastagem possua um resíduo foliar entre 1,5 e 2,0 t.ha<sup>-1</sup>, pois dessa forma é possível garantir o potencial da pastagem e produtividade do gado.

Os valores de matéria seca obtidos são convertidos pela equação proposta por Franco e Rosa (2004) onde obtém-se a biomassa total da área

$$B = Ppd/A \quad (1)$$

Onde **B** é a biomassa; **Ppd** é o peso da pastagem desidratada, depois de retirada da estufa; **A** é a área do gabarito de campo utilizado para delimitação das parcelas amostradas.

As folhas verdes são o principal produto das pastagens e indicam suas condições de crescimento. O uso do sensoriamento remoto nesse tipo de estudo é indispensável porque os dados obtidos fornecem um detalhamento da intensidade do verde, o que está relacionado ao

processo fotossintético, absorção e conversão da energia da radiação solar em energia química necessária ao crescimento da planta e ao ganho de carbono. Com isso, é possível estabelecer relações empíricas entre reflectância espectral e biomassa e também utilizar a reflectância espectral para estimar a quantidade de Radiação Ativa Absorvida por Fotossíntese (APAR).

Por meio do sensoriamento remoto é possível obter uma demonstração da intensidade do verde e área foliar à medida que as informações climáticas diárias influenciam a capacidade de crescimento. Esta abordagem permite a estimativa da produtividade em locais de pastagens e biomas diversos.

É consenso na literatura a existência da relação entre a biomassa viva e os índices de vegetação, especialmente o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e EVI (*Enhanced Vegetation Index*), sendo o primeiro utilizado em larga escala no processamento de dados de sensores orbitais na estimativa da fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (fAPAR), que é absorvida pelo dossel das plantas. Sua aplicação é possível dada a absorção seletiva da vegetação, onde a radiação nos comprimentos de onda do visível é fortemente absorvida enquanto nos comprimentos do infravermelho próximo a radiação é altamente refletida.

Mediante essa concepção, e com o uso de dados de sensoriamento remoto, vários modelos foram propostos para estimativa da produtividade de biomassa, a exemplo do elaborado por Kumar e Monteith (1982), onde a matéria seca é estimada em função: do crescimento da vegetação em determinado período; da eficiência fotossintética; da PAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa) incidente; da fração da radiação solar na faixa PAR; e da radiação solar incidente.

### **2.3 Espectrorradiometria**

O sensoriamento remoto, em sua explicação mais simplificada, pode ser definido como a forma de se obter informações a respeito de um objeto sem que ocorra contato físico com o mesmo. Isto é possível porque os sensores realizam o registro da Radiação Eletromagnética (REM), que pode ser oriunda de fontes naturais (Sol e a Terra) ou por fontes artificiais, como o radar, e sua interação com a superfície terrestre.

A descoberta da fotografia, em 1859, foi o início do sensoriamento remoto, no entanto, só a partir da década de 1970 é que o termo foi incorporado à linguagem científica. Em 1972 os

Estados Unidos da América colocaram em órbita o primeiro satélite com finalidade civil para obtenção de dados de alvos terrestres.

Em sensoriamento remoto as faixas do espectro eletromagnéticos mais utilizadas são: visível (0,38 a 0,76  $\mu\text{m}$ ), infravermelho (0,8 a 3,0  $\mu\text{m}$ ) e micro-ondas (1 a 100 cm), de acordo com quadro 01. No entanto, os limites e amplitudes dos intervalos podem variar entre os autores de referência.

Quadro 01: Principais regiões espectrais utilizadas em Sensoriamento Remoto

<b>Regiões espectrais utilizadas em Sensoriamento Remoto</b>		
Região	Nome do comprimento de onda	Comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ )
Visível	Violeta	0,38 – 0,45 $\mu\text{m}$
	Azul	0,45 – 0,49 $\mu\text{m}$
	Verde	0,49 – 0,56 $\mu\text{m}$
	Amarelo	0,56 – 0,59 $\mu\text{m}$
	Laranja	0,59 – 0,63 $\mu\text{m}$
	Vermelho	0,63 – 0,76 $\mu\text{m}$
Infravermelho	Infravermelho próximo	0,80 – 1,50 $\mu\text{m}$
	Infravermelho de ondas curtas	1,50 – 3,00 $\mu\text{m}$
	Infravermelho médio	3,00 – 5,00 $\mu\text{m}$
	Infravermelho longo ou Termal	5,00 – 15,0 $\mu\text{m}$
	Infravermelho distante	15,0 – 300 $\mu\text{m}$
Microondas	Submilimétrica	0,01 – 0,10 cm
	Milímetro	0,10 – 1,00 cm
	Microondas	1,0 – 100 cm

Fonte: Novo, 2010.

Dados espectrais de um alvo podem ser obtidos no nível terrestre, utilizando sensores denominados espectrorradiômetros (de campo ou laboratório), os resultados fornecem informações importantes sobre como os objetos em análise podem ser identificados e interpretados em imagens geradas por sensores orbitais; em nível aéreo, com sensores a bordo de aeronaves; e orbital, com sensores a bordo de satélites.

A utilização de dados oriundos de um determinado sensor vai depender de fatores tais como: o objetivo da pesquisa, o objeto a ser estudado, a localização e tamanho da área analisada, custos e recursos disponíveis, dentre outros.

A interação do fluxo de radiação eletromagnética com a superfície de um alvo leva à ocorrência de três fenômenos: reflectância, absorvância e transmitância, que são a razão entre o fluxo de REM (refletido, absorvido e transmitido) e o fluxo incidido sobre a superfície, conforme quadro 02.

A reflectância é o processo que se mostra mais importante em sensoriamento remoto. Pela medida da reflectância de um objeto ao longo do espectro eletromagnético, torna-se possível a discriminação de alvos e a interpretação de imagens obtidas por sensores orbitais. O conceito de reflectância é definido como “uma propriedade de um determinado objeto em refletir a radiação eletromagnética sobre ele incidente” (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

Quadro 02: Tipos de interação da radiação eletromagnética com a matéria

Tipo de interação da REM com a matéria	Equação	
Reflectância	$\rho = \Phi_r / \Phi_i$	$\Phi_i$ é o fluxo de radiação incidente
Absorvância	$\alpha = \Phi_a / \Phi_i$	$\Phi_r$ é o fluxo de radiação refletido
Transmitância	$\tau = \Phi_t / \Phi_i$	$\Phi_a$ é o fluxo de radiação absorvido $\Phi_t$ é o fluxo de radiação transmitido

Fonte: Novo, 2010 (adaptado).

A radiometria é definida como a ciência ou a técnica para quantificar a radiação eletromagnética (LORENZZETTI, 2002). A partir da mensuração da REM é possível obter informações, contidas em imagens ou gráficos, a respeito de como um determinado alvo comporta-se em relação aos fenômenos de reflectância, absorvância e transmitância. De acordo com Meneses (2001), a radiometria pode ser entendida como a medida quantitativa da intensidade da radiação, a exemplo da radiação eletromagnética emitida pelo Sol. A característica da radiação eletromagnética que a torna imprescindível no uso pelo sensoriamento remoto é sua capacidade de propagação em espaços vazios ou vácuo.

Ao olho humano apenas a luz que está compreendida na faixa do visível do espectro eletromagnético é perceptível, emitida pelo Sol que ilumina a superfície da Terra.

#### Segundo Meneses (2001)

a radiometria espectral é uma das mais importantes, senão a mais fundamental área do conhecimento do sensoriamento remoto. Isso porque, é por meio das medidas radiométricas de laboratório ou de campo que se descobrem com qual intensidade cada material, seja um solo, um tipo de rocha ou uma vegetação, reflete a radiação

eletromagnética nos diferentes comprimentos de onda do espectro e isso nos permite explicar e entender como cada um desses objetos irá aparecer nas imagens.

Na literatura, a espectrorradiometria é descrita como a medida da distribuição da energia radiante advinda de um objeto, sua aplicação possibilita o entendimento a respeito das condições e características dos alvos estudados. Atualmente a informação espectral tem se tornado essencial nas pesquisas, que as concepções no desenvolvimento de novos sensores tem sido cada vez mais direcionado ao sensoriamento remoto hiperespectral, que realiza a tomada de muitas imagens de forma que é possível conhecer o espectro de reflectância dos objetos contidos em um pixel. Isso faz com que seja imprescindível o conhecimento acerca dos padrões das respostas de reflectância de diferentes materiais para a interpretação desse tipo de imagem para a composição de mapas de uso da terra ou mapas geológicos, por exemplo.

Quando a energia radiante for a reflectância, a espectrorradiometria é denominada como espectrorradiometria de reflectância e seu conhecimento se faz importante ao intérprete na discriminação de diferentes alvos, o que faz a informação espectral um forte diferencial no sensoriamento remoto. Os comprimentos de onda medidos com a aplicação desta técnica são representados em um gráfico conhecido como curva de reflectância espectral.

Dados obtidos pela espectrorradiometria são tabulados a partir das regiões mais apropriadas do espectro da REM. As faixas do vermelho e do infravermelho próximo detém cerca de 90% da variação da resposta espectral da vegetação e são utilizadas em estudos de biomassa, índice de área foliar e percentual de cobertura vegetal.

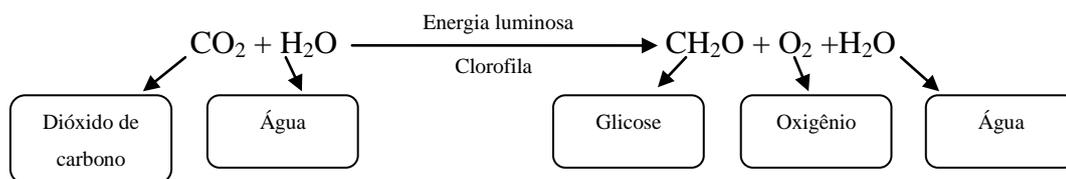
## **2.4 Comportamento espectral da vegetação**

Os estudos a respeito do processo de fotossíntese foram iniciados com Aristóteles, que descreveu que as plantas necessitavam de luz para que tivessem a aparência da cor verde. Desde então diversos outros cientistas se debruçaram sobre o tema e estudos de diferentes áreas foram realizados. Mas apenas quando foi descoberto que os vegetais obtêm da radiação eletromagnética fornecida pelo Sol a energia de que necessitam para sintetizar compostos orgânicos essenciais à manutenção de sua estrutura, é que a interação entre a radiação e a vegetação passou a ser estudada profundamente.

A fotossíntese é um processo importante para as plantas porque gera energia suficiente para a síntese de produtos de que necessita ao seu metabolismo. De acordo com Rosa (2012) a fotossíntese

é a fonte primária de matéria orgânica e energia em potencial que, todas as formas de vida, incluindo o homem, são dependentes. Além da importância direta da matéria orgânica produzida pela fotossíntese, sua produção resulta em alterações importantes na composição química do ambiente, em particular, a fixação fotossintética do dióxido de carbono e acompanhada pela liberação de oxigênio.

A fotossíntese é um processo complexo, mas que de forma simplificada pode ser descrito como o processo pelo qual os vegetais captam a luz solar e a convertem em energia química necessária ao seu desenvolvimento e manutenção. Pela equação da fotossíntese é possível observar que a planta necessita de  $\text{CO}_2$  e água como elementos primários, absorve a energia luminosa através da clorofila presente nas folhas (eficiente na absorção da luz nas faixas do vermelho e azul, refletindo a cor verde), que é o pigmento fotossintetizante, e tem como produto desse processo, glicose, oxigênio e água.



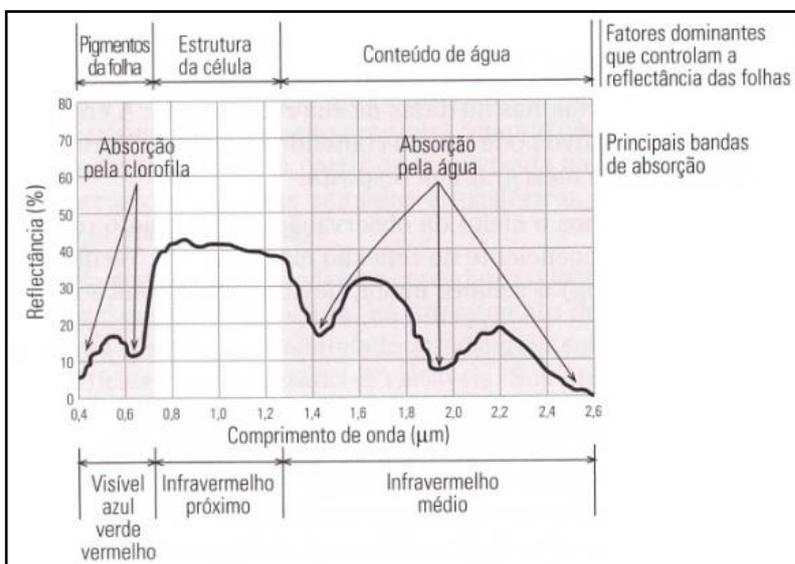
Diversos fatores podem limitar a realização da fotossíntese, como: a disponibilidade de pigmentos fotossintetizantes e enzimas (fatores intrínsecos); a concentração de  $\text{CO}_2$ , a temperatura, o comprimento de onda e a intensidade luminosa (fatores extrínsecos).

De acordo com Meneses (2001), “de todos os elementos da vegetação, a folha constitui o principal deles quando se considera o processo de interação com a radiação eletromagnética”. A forma como essa interação ocorre depende do ângulo de incidência da fonte de REM, o que pode acarretar numa leitura da radiação refletida pela face ventral ou dorsal da folha. Essas medidas realizadas por Gates et al (1965), se mostraram consideravelmente diferentes relacionados às propriedades espectrais das folhas quanto à reflectância, transmitância e absorptância nos diferentes comprimentos de onda do espectro.

Analisando-se a figura 03 e de acordo com Novo (2010), é possível inferir que a curva espectral de uma folha verde e fotossinteticamente ativa pode ser dividida em três regiões de acordo com o comportamento da reflectância:

- a) Até 0,7  $\mu\text{m}$  (região do visível), a reflectância é considerada baixa, menor que 20%, pois nesse intervalo a radiação incidente é fortemente absorvida pelos pigmentos da planta, o que ocorre próximo a 0,44  $\mu\text{m}$  e 0,65  $\mu\text{m}$ . Estes pigmentos são encontrados nos cloroplastos, denominados como clorofila, carotenos e xantofilas. A energia radiante interage com a estrutura da folha de duas formas, por absorção e espalhamento;
- b) Entre 0,7 e 1,3  $\mu\text{m}$  (região do infravermelho próximo), há alta e quase constante reflectância da vegetação (de 30% a 40%) e baixa absorção, explicada pela estrutura celular da folha (quanto mais lacunosa a estrutura interna, maior o espalhamento da radiação incidente) e pela necessidade da planta evitar o superaquecimento, visto que a quantidade de energia nesse intervalo é alta;
- c) De 1,3  $\mu\text{m}$  a 2,6  $\mu\text{m}$  (região do infravermelho de ondas curtas), a reflectância é influenciada basicamente pela presença de água nas folhas, havendo três pontos onde a absorção ocorre de forma acentuada em 1,45  $\mu\text{m}$  e 1,95  $\mu\text{m}$ .

Figura 03: Comportamento espectral da vegetação na faixa do visível e infravermelho do espectro eletromagnético



Fonte: Novo, 2010

Sendo assim, a estrutura foliar é mais facilmente detectada a partir dos sensores remotos que operam na região do infravermelho, pois o espalhamento da radiação interna ocasiona maior reflectância nesse intervalo do espectro.

Vale ressaltar, porém, que o comportamento espectral da vegetação pode variar de acordo com o tipo de cultura, condições atmosféricas, biomassa, índice de área foliar, solo, variação sazonal, arquitetura do dossel, ângulo de visada e tipo de sensor leitor, teor de água e turgidez. O solo é um dos fatores mais preponderantes, pois absorve e reflete a radiação eletromagnética incidente e, em geral, influencia a reflectância do dossel, como acontece em caso de dosséis mais esparsos. O ideal é que uma quantidade considerável de medidas espectralradiométricas seja realizada, bem como se ter o conhecimento do percentual de cobertura do solo e o ângulo de visada do sensor. Isso porque o percentual de cobertura do solo é inversamente proporcional aos valores de reflectância na região do visível, ou seja, quanto mais exposto estiver o solo, maiores valores de reflectância serão assumidos no visível.

A importância da espectralradiometria de campos se deve a alguns fatores tais como a eliminação do efeito da atmosfera na coleta de dados, o controle quanto ao dado coletado em relação à cobertura de nuvens, controle da distância entre o alvo e o sensor, controle do ângulo de obtenção dos dados e da iluminação, o que permite a exclusão de fontes de variação durante a obtenção dos dados.

A medida *in situ* com um espectralradiômetro é tipicamente coletada aproximadamente a 1m acima do dossel. Numerosas medidas pareadas de reflectância espectral de aeronave e de terreno podem ser usadas para calibrar (ajustar) as medidas de reflectância espectral derivadas de sensoriamento remoto, para minimizar os efeitos de espalhamento atmosférico, absorção e reflexão. (MENESES, 2001)

Segundo Papa (2009), a utilização de técnicas de sensoriamento remoto, e particularmente, a utilização de assinaturas espectrais das culturas agrícolas, pode contribuir para a melhoria do processo de controle sobre os fatores que influenciam o desenvolvimento das culturas, pois servem como bons indicadores das condições gerais de vigor da cultura. Dessa forma, a espectralradiometria se configura como uma importante técnica aplicada à agricultura possibilitando a estimativa de variáveis biofísicas.

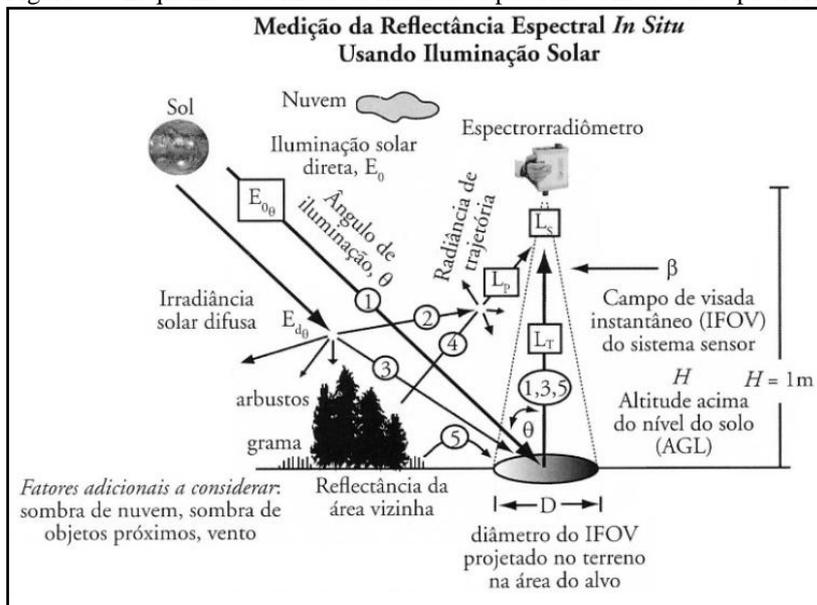
Jensen (2009) afirma que duas medidas espectrais são necessárias para se obter a reflectância de um material. Primeiro obtém-se a radiância refletida num intervalo de comprimento de onda conhecido de uma amostra de referência  $L_T$ , que pode ser obtida por uma placa de *Spectralon*. A segunda medida é a radiância refletida pelo alvo de interesse, expresso por  $L_T$ , no mesmo intervalo de comprimento de onda utilizado para a referência. Assim sendo, é

possível obter o espectro de reflectância ( $\rho_T$ ) a partir da razão entre a radiância medida do alvo e a medida pela amostra de referência.

O autor afirma que os espectros de reflectância obtidos no campo usando um espectrorradiômetro portátil são influenciados por cinco tipos de iluminação solar. A irradiância mais dominante é a iluminação solar direta ( $E_o$ , trajetória 1), conforme figura 04, podendo contribuir com até 90% em condições de céu claro. A iluminação solar difusa equivale de 10 a 20% da energia que ilumina o terreno e, embora parte dela não atinja o alvo, entra no campo de visada do instrumento de sensoriamento remoto, na figura expressa por  $E_d$  (trajetória 2). A parte da irradiância que atinge o alvo é captada pelo campo de visada instantâneo do sensor e está representado por  $E_d$ , trajetória 3.

Adotou-se como metodologia para este trabalho a tomada das medidas de reflectância apenas em dias claros, com o mínimo de cobertura de nuvens. No entanto, seria possível que a leitura dos dados fosse feita mesmo em dias de certa nebulosidade uma vez que os espectros de referência e do alvo sejam tomados sob as mesmas condições. Porém, se o objetivo for o de calibrar um sistema sensor de satélite ou a bordo de uma aeronave, a coleta dos espectros deve ser feita ao mesmo tempo e sob as mesmas condições atmosféricas da missão de sensoriamento remoto orbital.

Figura 04: Esquema de tomada de medidas espectrais com uso de espectrorradiômetro de campo



Fonte: Jensen, 2009

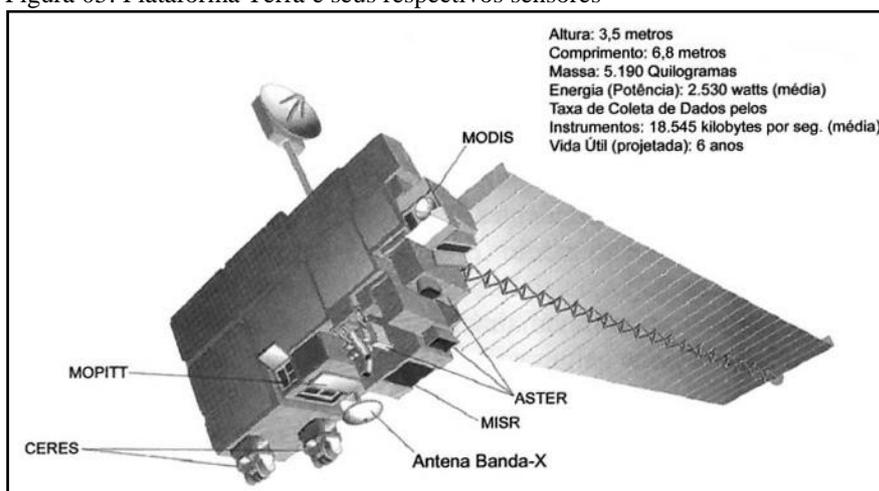
## 2.5 O Sensor MODIS

O EOS (*Earth Observing System*) é liderado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e trouxe a concepção de plataformas orbitais com vários sensores a bordo de forma a realizar a coleta de diferentes tipos de dados simultaneamente. A plataforma Terra foi a primeira lançada pelo programa EOS e tem a bordo os sensores: CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*), MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) e MISR (*Multi-angle Imaging SpectroRadiometer*), conforme a figura 05. O objetivo geral do projeto é determinar como a Terra está mudando e quais são as consequências para a vida no planeta.

O MODIS é o principal instrumento desta plataforma, foi lançado em dezembro de 1999. De acordo com Vermote (2002), foi construído baseado nas experiências do AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) e TM (*Thematic Mapper*) a fim de fornecer dados globais diários com alta qualidade radiométrica e geométrica. Realiza uma varredura da Terra a cada 02 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. A resolução espacial é de 250 m (bandas 1 e 2), 500 m (bandas 3 a 7) e 1 km (bandas 8 a 36), está em órbita a 705 km de altura e faz a varredura numa faixa de 2.330 km no sentido ortogonal, quadros 03 e 04. O MODIS “foi um compromisso para satisfazer os requisitos das três disciplinas diferentes: atmosfera, mar e terra (...) fornecendo cobertura global quase diária” (JUSTICE et al, 2002, p.4, tradução nossa).

Os produtos MODIS possibilitam o monitoramento da superfície da terra a longo prazo. São disponibilizados gratuitamente pela NASA através do site <http://reverb.echo.nasa.gov/> com projeção sinusoidal e formato HDF (*Hierarchical Data Format*). No entanto essas características não são muito usuais e o formato disponibilizado não pode ser lido pela maioria dos aplicativos de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Por estes motivos os dados obtidos devem ser pós-processados no software MRT (*MODIS Reprojection Tool*), também fornecido gratuitamente pela NASA.

Figura 05: Plataforma Terra e seus respectivos sensores



Fonte: Rudorff et al, 2007

Quadro 03: Especificações gerais do sensor MODIS

<b>Órbita</b>	<b>Altitude de 705 km, cruzando o Equador às 10:30 h em nodo descendente (Terra) e às 13:30 no nodo ascendente (Aqua), heliossíncrona, quase polar, circular</b>
Taxa de varredura	20 rpm, ortogonal à órbita
Faixa imageada	2.330 km (ortogonal) por 10 km (direção de vôo no nadir)
Telescópio	17,78 cm diâmetro, sem eixo único, focos separados, com planos de desvio intermediários
Tamanho	1,0 x 1,6 x 1,0 m
Peso	228,7 kg
Potência	162,5 W (média orbital)
Taxa de dados	10,6 Mbps (pico); 6,1 Mbps (média orbital)
Quantização	12 bits
Resolução espacial	250 m (bandas 1-2) 500 m (bandas 3-7) 1000 m (bandas 8-36)
Vida útil	6 anos

Fonte: Rudorff et al., 2007

O produto 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. Os principais objetivos deste produto são a geração de índices de vegetação em boas resoluções espaciais, a

eliminação da presença de nuvens por meio do mosaico de imagens, a padronização da geometria de aquisição das imagens, a garantia da qualidade dos dados, entre outros.

Estudos apontam que existe uma grande relação da biomassa viva com os índices de vegetação, especialmente o NDVI que é utilizado em larga escala no processamento de dados de satélite na estimativa da fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa (fAPAR) absorvida pelo dossel das plantas. Sua aplicação é possível dada a absorção seletiva das folhas, onde a radiação nos comprimentos de onda do visível é fortemente absorvida enquanto nos comprimentos de onda do infravermelho próximo a radiação é altamente refletida. Assim sendo, o NDVI é uma relação normalizada entre as reflectâncias do infravermelho próximo e do vermelho e tem como objetivo a eliminação das diferenças sazonais do ângulo de elevação do Sol e reduzir os efeitos da atenuação atmosférica em imagens obtidas multitemporalmente.

Quadro 04: Especificações do sensor MODIS com aplicações para as 36 bandas

<b>Uso Principal</b>	<b>Banda</b>	<b>Largura da Banda</b>	<b>Radiância</b>
Terra/Nuvens/Aerossóis limite	1	620 - 670	21,8
	2	841 - 876	24,7
Terra/Nuvens/Aerossóis Propriedades	3	459 - 479	35,3
	4	545 - 565	29,0
	5	1230 - 1250	5,4
	6	1628 - 1652	7,3
	7	2105 - 2155	1,0
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	21,0
	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	10,0
	18	931 - 941	3,6
Temperatura superfície/nuvens	19	915 - 965	15,0
	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	6,00
	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	31	10,780 - 11,280	9,55 (300K)

superfície/nuvens	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 ( $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1} \text{sr}^{-1}$ )

Com o intuito de otimizar o sinal de resposta da vegetação, foi criado o índice de vegetação melhorado (EVI) com a proposta de melhorar a sensibilidade e discriminar variações estruturais em regiões com maior densidade de biomassa e reduzir as interferências atmosféricas e de solo. É uma variação do NDVI com a introdução da banda do azul à equação original. Uma das propostas de uso do EVI de maior repercussão no meio acadêmico foi descrita por Huete et al (2006), onde os autores demonstraram que, ao contrário do que se imagina, a floresta amazônica apresenta crescimento distinto.

## 2.6 Produtividade Primária Líquida e Eficiência Fotossintética

Entende-se Produtividade Primária Líquida (PPL) como a energia armazenada pela planta por meio do processo de fotossíntese, deduzida a energia que consome para a respiração (ROSA, 2013). É um indicador de saúde de uma pastagem e essencial ao equilíbrio ecológico porque corresponde à produção de substâncias que entra na constituição do organismo. Conhecer a PPL tem importância para as análises de indicadores de vigor da vegetação, sazonalidade e capacidade de crescimento para o manejo e a avaliação da saúde das pastagens. A PPL varia espacialmente e temporalmente. Fatores climáticos, de distribuição da vegetação e uso do solo estão relacionados às variações espaciais. Por outro lado, as mudanças temporais relacionam-se à variabilidade sazonal e das condições de tempo, mudanças das condições da atmosfera e das mudanças climáticas, por exemplo.

Há uma grande variedade de modelos de estimativa da PPL encontrados na literatura, os mesmos podem ser divididos em três grupos: modelos estatísticos, modelos paramétricos e modelos de processos, apresentando cada grupo pontos positivos e pontos negativos. Os modelos estatísticos são mais simples, mas limitados quanto às generalizações. Os modelos paramétricos são vantajosos por utilizarem dados de sensoriamento remoto, especialmente em grande escala, porém não estabelecem conexão com alguns processos ecológicos, pelo uso de relações empíricas e constantes. Já os modelos de processos são bastante complexos, embora

sejam baseados no conhecimento de processos ecológicos e biofísicos fundamentais. Sua desvantagem está na demanda de alta capacidade computacional e dificuldade de calibração.

Não há muitos estudos realizados sobre essa temática no país que utilizem a metodologia adotada neste trabalho, em parte porque envolve altos custos e um número considerável de pessoas envolvidas, o que torna os levantamentos de campo onerosos.

A capacidade da planta em incorporar o carbono atmosférico e transformá-lo em compostos orgânicos, por meio do uso da energia luminosa absorvida durante a fotossíntese, determina seu crescimento. Entretanto, diversos fatores podem influenciar a produtividade primária, dentre eles: radiação eletromagnética, temperatura, disponibilidade de água e nutrientes, quantidade de gás carbônico na estrutura intracelular da folha, tipo de clima, tipo de vegetação, interferência do homem no meio, entre outros. Destes, a temperatura é o fator ambiental que gera efeitos imediatos sobre os processos bioquímicos, físicos ou morfogênicos das plantas.

Segundo Matthew et al (2002), o uso de sistemas sensores possibilita a realização de estimativas de produtividade das pastagens, fornecendo uma medida prática para seu manejo e para avaliação do vigor e da capacidade de crescimento da vegetação. De acordo com o autor, estas variáveis podem ser medidas com precisão, sendo possível caracterizar as pastagens quantitativamente e sazonalmente, além de monitorar taxas e tendências da produção primária de forma repetida e "instantaneamente" em centenas de milhares de hectares.

Kumar e Monteith (1981) propuseram um método para estimativa da produtividade líquida da biomassa que tem sido aplicado para estimar a produtividade de pastagem visto que a propriedade econômica da pastagem é a biomassa das folhas.

$$PPL = \epsilon f \sum_{j=1}^n [NDVI][PAR] \quad (2)$$

Em que  $\epsilon f$  é a eficiência fotossintética; **NDVI** é o índice de vegetação encontrado; e **PAR** é a Radiação Fotossinteticamente Ativa.

Segundo Rosa (2013), antes de estimar a PPL, é necessário que termos como a respiração, ponto de compensação e saturação, Eficiência Fotossintética e Radiação Fotossinteticamente Ativa sejam compreendidos. Neste trabalho apenas os dois últimos são de interesse e diretamente aplicados na obtenção da PPL.

A  $\epsilon f$  é determinada pela razão entre a biomassa seca produzida acima do solo e a Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (APAR), sendo expressa em g/MJ.

$$\varepsilon f = \frac{Ms}{APAR} \quad (3)$$

Em que MS é a matéria seca; APAR é a Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida, utilizada pelos pigmentos da planta.

Estimar a  $\varepsilon f$  equivale dizer ao quanto o uso da radiação foi eficiente durante a fotossíntese realizada pela planta, ao longo de seu processo de crescimento, ou seja, no processo de fotossíntese há a conversão de energia luminosa em energia química, o que alimenta os processos biológicos da planta. O valor de  $\varepsilon f$  varia com o tipo e o estágio de crescimento da vegetação, os fatores meteorológicos, as condições ambientais e os níveis de nutrientes no solo. No Brasil se faz importante o desenvolvimento de métodos para gerar um padrão e fornecer valores de  $\varepsilon f$  para diversos tipos de vegetação nos diferentes biomas, pois atualmente ainda não estão disponíveis tais dados.

Segundo De Carli (2009), a radiação é determinante no crescimento das plantas, pois é considerada como fonte no processo de fotossíntese e também porque as enzimas da fotossíntese e de outros processos metabólicos da planta são controladas pela luz.

A APAR (Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida) expressa a capacidade de absorção de energia que um dossel possui, sendo então elemento chave para a avaliação da produtividade da vegetação (Prince, 1991a, b). Monteith (1977) descreveu que há uma relação direta entre a PPL e a APAR. A quantidade de PAR depende da quantidade de radiação solar que chega ao local e à capacidade da vegetação absorver esta radiação.

$$APAR = fAPAR * PAR (W/m^2) \quad (4)$$

Em que  $fAPAR$  é a fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida, que pode ser entendida como um indicador da presença e condição da cobertura vegetal, varia de 0 (zero) a 1.

A energia total assimilada pela fotossíntese é denominada de Produção Primária Bruta (PPB) e a que é acumulada na biomassa é chamada de Produção Primária Líquida (PPL). As espécies que possuem maior eficiência fotossintética tem maior potencial de produtividade.

Durante o processo de fotossíntese o carbono é transformado de um estado de baixa energia para um estado de alta energia, conferindo para a planta energia que atenda sua demanda de crescimento e manutenção de tecidos.

Para se obter o valor de  $\epsilon_f$ , necessita-se primeiro determinar os dados de Matéria Seca (MS), PAR e NDVI. Existem diferentes técnicas empregadas para obtenção de tais dados, que variam bastante em termos práticos e financeiros. As imagens de satélite fornecem uma gama considerável de informações, sendo utilizadas em larga escala em inúmeros trabalhos. Valores de NDVI e estimativas de MS podem ser obtidos a partir de imagens de sensores orbitais, a PAR pode ser calculada com dados de radiação solar de uma estação meteorológica próxima ao local estudado.

Neste trabalho, os dados de MS e NDVI foram obtidos mediante a realização de campanhas a campo, onde foram realizadas a coleta da biomassa e leituras espectrorradiométricas. Os valores de PAR utilizados são oriundos da estação do Projeto SONDA, do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), localizado na unidade da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – em Planaltina-DF.

$$PAR = 0,58 * R_{S_{diário}} (W/m^2) \quad (5)$$

Em que  $R_s$  é a radiação solar global e o 0,58 é o fator de aproveitamento da luz solar.

Rouse et al (1973) propuseram o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) pela razão entre o canal do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, os valores variam entre -1 e 1. O NDVI é utilizado para detectar atividades sazonal e fenológica, período de crescimento da vegetação, mudanças fisiológicas e períodos de senescência. Por isso ainda tem sido utilizado nos dias atuais em pesquisas agrícolas, florestais e climáticas. Embora apresente muitas vantagens, o uso do NDVI também possui algumas desvantagens:

- a) o NDVI é altamente sensível às variações do substrato sob o dossel (solos visíveis sob os dosséis); com isso, os valores de NDVI são altos quando se trata de substratos mais escuros;
- b) não é um índice linear, podendo ser influenciado por efeitos aditivos;
- c) tem alta correlação com o Índice de Área Foliar (IAF), mas aparentemente há uma saturação do NDVI quando o IAF é muito alto.

Ainda assim o uso do NDVI é preferido em relação a outros índices como o RVI (*Ratio Vegetation Index*), pois tende a ser linearmente proporcional à biomassa e considerado mais apropriado quando o objetivo do estudo é fazer comparação temporal de uma área, por exemplo.

$$NDVI = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (6)$$

Já o EVI é calculado a partir da equação:

$$EVI = \frac{G(IVP - V)}{(L + IVP + (C1 * V) - (C2 * Az))} \quad (7)$$

Em que IVP= infravermelho próximo; V= vermelho; L é o fator de ajuste para o solo; C1 e C2 são coeficientes de ajuste de aerossóis; G é o fator de ganho; L= 1; C1= 6; C2= 7,5; G= 2,5

### 3. METODOLOGIA

A preparação para a realização da pesquisa consistiu na delimitação das áreas mediante o uso de cercas para isolar o gado presente, de forma a impedir o pisoteio e ingestão das gramíneas e, conseqüentemente, interferência no estudo realizado. Durante toda a realização da pesquisa buscou-se o mínimo de interferência de forma a manter as condições naturais de uma pastagem.

As áreas foram divididas em parcelas de 10x10m, num total de 20 (figura 06). Por sua vez, essas parcelas foram divididas em 06 unidades amostrais, sendo cada uma coletada de forma aleatória, uma vez ao mês e não repetida ao longo do trabalho (figura 07).

Figura 06: Divisão por parcelas das áreas amostradas

Esquema de divisão das áreas por parcelas			
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20

Figura 07: Divisão das parcelas em unidades amostrais

Subdivisão das parcelas em unidades amostrais											
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
4	5	6	4	5	6	4	5	6	4	5	6

Ao ser sorteada a parcela recebeu a demarcação com uso de um gabarito metálico com medida de 0,5 x 0,5m (foto 03).

Foto 03: Gabarito utilizado para marcação das amostras



### 3.1 Biomassa

A coleta da biomassa foi feita na mesma parcela onde foi coletada a radiometria, retirada com auxílio de ferramentas apropriadas e as amostras colocadas em embalagens previamente identificadas. No laboratório, a matéria seca foi separada da matéria verde e, em seguida, as amostras foram novamente colocadas em embalagens identificadas (fotos 04 e 05). Todas as amostras foram pesadas antes e depois de irem à estufa de circulação forçada à temperatura de 60°C durante 72 horas, de forma que foi possível calcular a quantidade de água presente nas mesmas. Os valores de matéria seca obtidos são convertidos pela equação 1 proposta, onde se obtém a biomassa total da área. No Apêndice A encontram-se as tabelas completas em relação à biomassa de ambas as áreas.

A variação de produtividade de biomassa está relacionada à diferença da capacidade de absorção da radiação solar na faixa visível do espectro eletromagnético (400-760µm), chamada PAR (*Photosynthetic Active Radiation* – Radiação Fotossinteticamente Ativa) em uma determinada condição ambiental. Aplicando a equação 5 foi possível determinar os valores mensais de PAR para cálculo de biomassa e PPL. Os dados de radiação utilizados foram obtidos da estação do Projeto SONDA – Sistema de Organização Nacional de Dados Ambientais – do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), já fornecidos em MJ/m<sup>2</sup> dia. Na literatura estima-se que a fração de PAR utilizada pela vegetação em seu processo de fotossíntese seja da ordem de 50%. Galvani (2009) encontraram razões entre 44% e 69%.

Silva et al (2013), apontaram que, para a região de Cerrado, o valor de radiação fotossinteticamente ativa representa 58% da radiação global, aplicável para as estações seca e chuvosa. Os autores também utilizaram os dados do Projeto SONDA. Por este motivo, optou-se nesta pesquisa a utilização de tais valores. Sendo assim, pode-se dizer que o resultado do cálculo da PAR significa dizer o quanto de radiação esteve disponível para que a planta realizasse o processo fotossintético.

Foto 04: Separação da biomassa em material seco e verde



Foto 05: Acondicionamento das amostras na estufa



### 3.2 Espectrorradiometria

Segundo Menezes (2001), a espectrorradiometria é definida como a medida da distribuição da energia radiante em diversos comprimentos de onda proveniente de um objeto, sendo essa medida denominada de reflectância.

Os dados obtidos a partir da espectrorradiometria são tabulados e aplicados em canais mais apropriados do espectro, pois as faixas do vermelho e do infravermelho próximo detêm cerca de 90% da variação da resposta espectral da vegetação e são utilizadas em estudos de biomassa, índice de área foliar e percentual de cobertura vegetal.

Numerosas medidas pareadas de reflectância espectral de aeronave e de terreno podem ser usadas para calibrar as medidas de reflectância derivadas de sensoriamento remoto, para minimizar os efeitos de espalhamento atmosférico, absorção e reflexão.

Para as medições da reflectância das parcelas amostradas neste trabalho, foi utilizado o espectrorradiômetro ASD FieldSpec View, modelo Handheld, com IFOV de 25° compreendendo as faixas espectrais entre 325 e 1075nm (figura 08), cedido pela Universidade Federal de Uberlândia.

O período de coleta foi definido entre os meses de julho e dezembro de 2013, em intervalos de 30 dias aproximadamente, iniciadas no mesmo horário e buscando observar a tomada dos dados sempre em condições atmosféricas semelhantes.

Figura 08: Modelo do Espectrorradiômetro utilizado na pesquisa



Fonte: ASD.

Neste tipo de metodologia, alguns cuidados devem ser tomados antes do início das leituras. Em primeiro lugar, é necessário determinar a altura adequada na qual o sensor deve ser posicionado em relação à amostra. A medida *in situ* com um espectrorradiômetro é tipicamente coletada aproximadamente a 1m acima do dossel. Foi utilizado um cálculo

simples (equação 1) onde, conhecendo-se o raio da área de amostra e o ângulo de abertura do sensor, é possível determinar a altura apropriada para o posicionamento do aparelho.

$$\tan \alpha = \frac{r}{h} \quad (8)$$

Em que **tan $\alpha$**  é a tangente do ângulo de abertura do sensor, **r** é o raio da amostra e **h** a altura de posicionamento do sensor.

Com isso, chegou-se ao valor de 1,12m e arredondado para 1,10m. Para tanto, o aparelho foi fixado em uma estrutura metálica adaptada de modo que o sensor estivesse posicionado na altura determinada e evitasse o deslocamento e tomada de dados em alturas diferentes, o que interferiria na coleta e análise das informações (foto 06).

Foto 06: Leitura espectrorradiométrica realizada em campo



Já em campo, o primeiro passo foi realizar a otimização do aparelho, procedimento que define as configurações adequadas para a fonte de luz (solar ou artificial) que será utilizada para coletar os espectros. A otimização relaciona-se aos componentes eletrônicos do espectrorradiômetro e sua sensibilidade em função do tempo em que permanece ligado. Por esse motivo o aparelho deve estar aquecido, pois isso garante maior sensibilidade dos sensores. Para tanto recomenda-se que o mesmo deva ser ligado cerca de 30 minutos antes do início das leituras. O usuário deve se lembrar de que o procedimento de otimização é extremamente importante e deve ser feito com o uso da placa de referência de forma frequente e sempre que as condições de iluminação se alterarem ou houver saturação do sensor, pois o

sensor ótico do instrumento, representado por uma matriz de fotodiodos de silício, precisa ser constantemente otimizado para garantir a correta digitalização da radiação captada por ele.

Após a otimização, deve ser tomada a referência utilizando uma placa, fabricada em sulfato de bário com aproximadamente 100% de reflectância (Spectralon®), fornecida com o aparelho, sendo a mesma utilizada no procedimento anterior. De acordo com orientação no manual do aparelho, recomenda-se que seja tomada nova referência a cada 15 minutos aproximadamente, quando o trabalho é feito em campo com iluminação solar. Adotou-se como procedimento neste trabalho uma nova tomada de referência a cada quatro amostras coletadas, o que é o equivalente a aproximadamente 10 minutos. Realizar esse procedimento é o mesmo que dizer ao aparelho que a placa apresenta 100% de reflectância, dada as condições de iluminação no momento da leitura. Desta forma, as medições espectrais realizadas posteriormente representarão a reflectância do alvo em relação à reflectância da placa branca. É importante ressaltar que tanto a otimização quanto a tomada de referência devem ser feitas sempre com a mesma posição e ângulo utilizados na coleta dos espectros.

Coletados os dados em campo, os mesmos foram pós-processados no software ViewSpec Pro, convertidos para o formato ASCII e posteriormente importados para o Microsoft Excel onde foram organizados e gerados os gráficos para a análise. Também foram criadas bibliotecas espectrais, no Envi 4.8, para cada mês de análise das duas áreas, uma com a média de cada área, sendo representativa para os diferentes tipos de solo.

A metodologia nas leituras espectrorradiométricas deve ser atentamente observada e seguida, pois a adoção de uma prática diferente da orientada pelo fabricante interferirá nos resultados obtidos. Por desconhecimento dos procedimentos operacionais do espectrorradiômetro, os dados foram coletados de forma errônea nos primeiros meses desta pesquisa. Uma das etapas não foi seguida, o que afetou os resultados iniciais do trabalho, sendo necessário o reinício das atividades de campo com novas leituras a partir da observância dos procedimentos corretos. Na figura 09, está representada uma curva de reflectância de um alvo do tipo pastagem realizada no início da pesquisa no qual o aparelho não estava sendo otimizado mediante o posicionamento da placa de referência sob o sensor. Já na figura 10, está representada uma curva de reflectância, também do mesmo tipo de alvo, onde a otimização do aparelho, bem como todos os demais procedimentos necessários constantes no manual do equipamento, e também aqueles informados pelo representante do fabricante, foram corretamente seguidos.

Figura 09: Curva de reflectância obtida sem a placa de referência

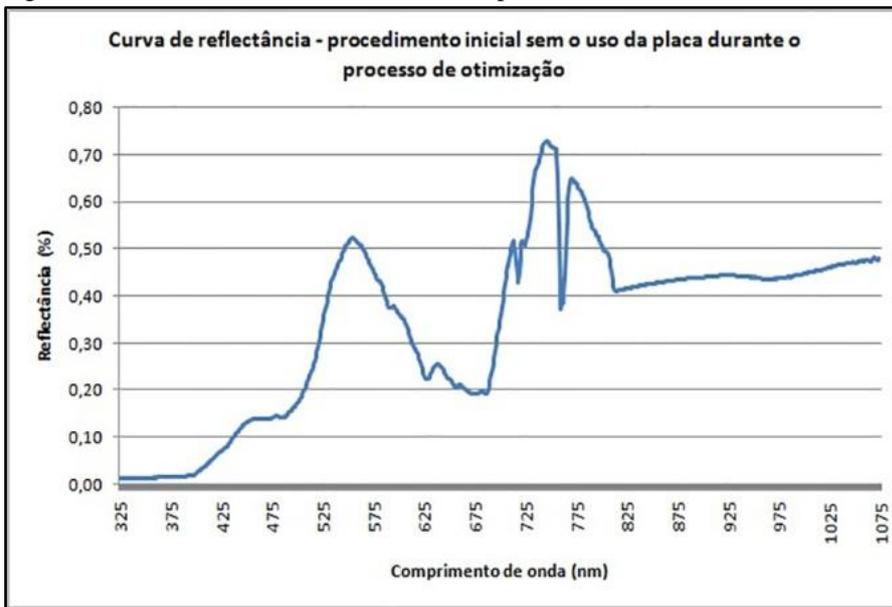
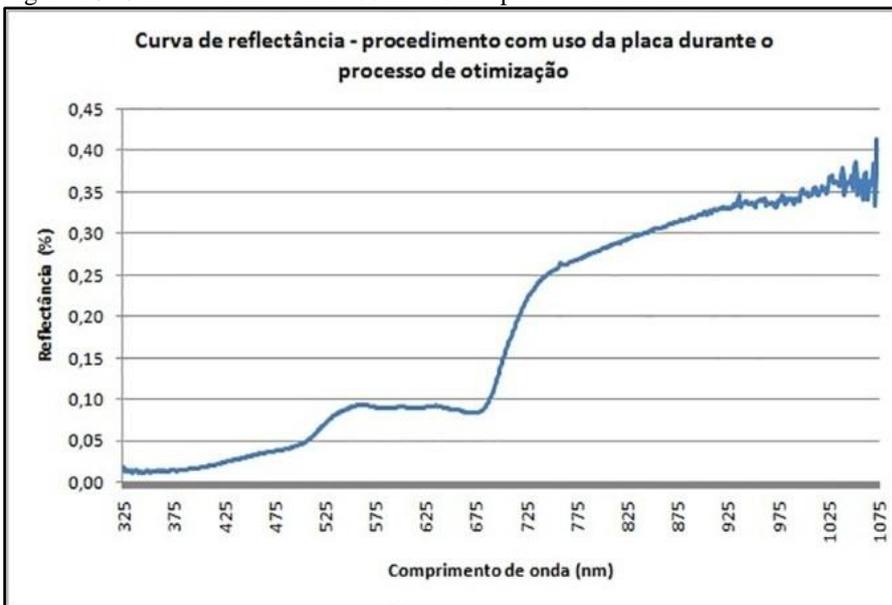
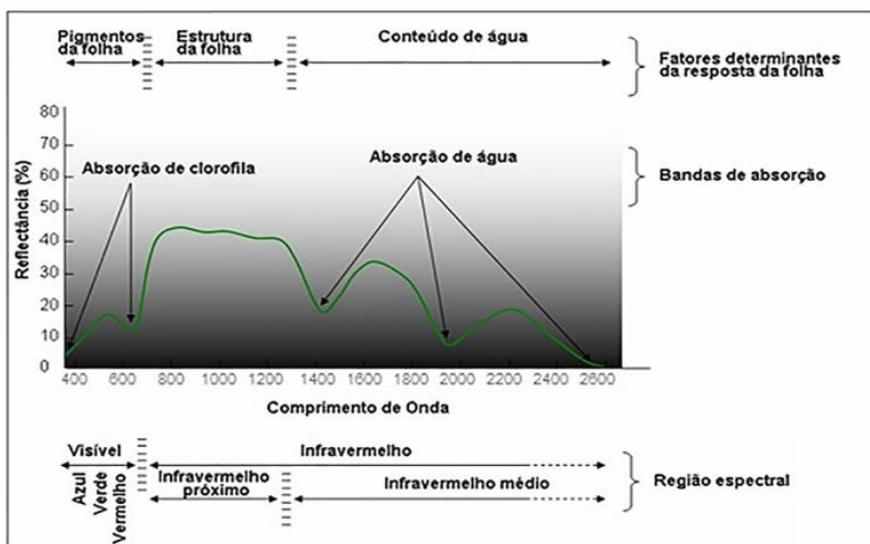


Figura 10: Curva de reflectância obtida com a placa de referência



É claramente nítida a diferença entre as curvas de reflectância realizadas com diferentes procedimentos metodológicos. Na figura 10, nota-se que a curva segue exatamente o padrão e valores esperados para reflectância de vegetação, apresentados na literatura (figura 11).

Figura 11: Curva de reflectância típica da vegetação verde



Fonte: INPE – Geodesastres Sul (adaptada).

### 3.3 Produtividade Primária Líquida e Eficiência Fotossintética

Em virtude da necessidade do reinício das coletas devido ao erro metodológico mencionado anteriormente, foi necessário reduzir de nove para seis a quantidade de amostras que de fato seriam analisadas neste trabalho. Os dados de radiometria e, conseqüentemente, de NDVI a partir dos mesmos, não puderam ser aproveitados. No entanto, foi possível utilizar os valores de biomassa para o cálculo de eficiência fotossintética juntamente com os dados de PAR obtidos pela estação SONDA. Assim, optou-se por utilizar os dados totais destas variáveis para o ano de 2013, pois se fossem aplicados apenas para o período de seis meses, os valores não seriam representativos para o objetivo da pesquisa. Dessa forma, os valores de PAR,  $fAPAR$  e  $APAR$  foram calculados para todo o período e somados para composição do cálculo de  $ef$ . Já os valores de crescimento da biomassa foram obtidos a partir da diferença entre os meses de maio e setembro, que marcam o início e fim do período seco e, conseqüentemente, o acumulado do crescimento da pastagem. De posse dos valores de  $APAR$ , e matéria seca, calculou-se a eficiência fotossintética para ambas as áreas estudadas mediante a aplicação da equação 3, onde a eficiência fotossintética é uma razão entre essas duas variáveis. Foram encontrados os valores de 0,50 e 0,36 para as áreas 1 e 2, respectivamente.

O NDVI é apontado na literatura como bom estimador da biomassa, por este motivo vem sendo utilizado em larga escala no processamento de dados de satélite na estimativa da fração da radiação  $APAR$  absorvida pelo dossel das plantas. Sua aplicação é possível dada a

absorção seletiva das plantas, onde a radiação nos comprimentos de onda do visível é fortemente absorvida, enquanto nos comprimentos do infravermelho próximo a radiação é altamente refletida. Então, a partir da combinação desse comportamento absorptivo e refletivo da vegetação, pode-se calcular o NDVI.

Para obtenção destes valores, utilizou-se como referência a bandas e os respectivos comprimentos de onda do sensor MODIS das bandas do infravermelho próximo (841 a 876 nm), do vermelho (620 a 670 nm) e do azul (459 a 479 nm). Então a partir dos valores das leituras radiométricas e utilizando a equação 06 e 07 foram calculados os valores de NDVI e EVI para o período de estudo para ambas as áreas.

Por fim, calculou-se a PPL para as áreas pesquisadas por meio da equação 02, em função do NDVI, PAR e  $\epsilon_f$ . Os resultados encontrados estão apresentados na próxima seção deste trabalho.

A fim de alcançar o objetivo proposto para esta pesquisa, foi feita a comparação dos dados de produtividade primária líquida para área de pastagem a partir de dados do sensor MODIS e aqueles obtidos por espectrorradiometria de campo.

O produto MOD17A3 (Produtividade Primária Líquida) seria uma alternativa de uso, porém o produto foi descontinuado e as últimas imagens foram disponibilizadas em dezembro de 2010. Por esse motivo, foi utilizado o produto MOD13Q1, que é composto por: *NDVI*, *EVI*, *VI-Quality*, *Red-reflectance*, *NIR-reflectance*, *Blue-reflectance*, *MIR-reflectance*, *view-zenith-angle*, *Sun-zenith-angle*, *relative-azimuth-angle*, *composite-day-of-the-year* e *pixel-reliability*. Neste trabalho foram utilizados apenas *NDVI*, *VI-Quality* e *pixel-reliability*.

Os valores de pixel das imagens de NDVI variam de -3000 a 10.000, de EVI de -2000 a 10000, das imagens de *Reliability* (Confiabilidade dos dados de índice de vegetação) variam de -1 a 3e das imagens de *VI Quality* (Qualidade dos dados de índice de vegetação) variam de 0 a 65.534, conforme quadros 05, 06 e 07.

Quadro 05: Conjunto de dados MOD13Q – por camada

<b>Conjunto de dados</b>	<b>Unidade</b>	<b>Tipo Bit</b>	<b>Preenchimento</b>	<b>Intervalo Válido</b>	<b>Fator de Escala</b>
<b>Camadas HDF (12)</b>					
250m 16 dias NDVI	NDVI	Inteiro 16 dias assinado	-3000	-2000, 10000	0.0001
250m 16 dias EVI	EVI	Inteiro 16 dias assinado	-3000	-2000, 10000	0.0001
250m 16 dias VI Quality detailed QA	Bits	Inteiro 16 dias assinado	65535	0, 65534	NA
250m 16 dias red reflectance (Band 1)	Reflectância	Inteiro 16 dias assinado	-1000	0, 10000	0.0001
250m 16 dias NIR reflectance (Band 2)	Reflectância	Inteiro 16 dias assinado	-1000	0, 10000	0.0001
250m 16 dias blue reflectance (Band 3)	Reflectância	Inteiro 16 dias assinado	-1000	0, 10000	0.0001
250m 16 dias MIR reflectance (Band 7)	Reflectância	Inteiro 16 dias assinado	-1000	0, 10000	0.0001
250m 16 dias view zenith angle	Grau	Inteiro 16 dias assinado	-10000	-9000, 9000	0.01
250m 16 dias sun zenith angle	Grau	Inteiro 16 dias assinado	-10000	-9000, 9000	0.01
250m 16 dias relative azimuth angle	Grau	Inteiro 16 dias assinado	-4000	-3600, 3600	0.1
250m 16 dias composite day of the year	Dia juliano	Inteiro 16 dias assinado	-1	1, 366	NA
250m 16 dias pixel reliability summary QA	Rank	Inteiro 16 dias assinado	-1	0, 3	NA

Quadro 06 - Descrição da Imagem *Pixel-Reliability* do produto MOD13Q1

<b>Valor do Pixel</b>	<b>Resumo QA</b>	<b>Descrição</b>
-1	Sem Dado	Não Processado
0	Dado Bom	Uso com Confiança
1	Dado Marginal	Utilizável, porém consultar outro QA
2	Neve/Gelo	Alvo coberto com neve/gelo
3	Nuvem	Alvo coberto com nuvens

Quadro 07 - Descrição da imagem *VI-Quality* do produto MOD13Q1

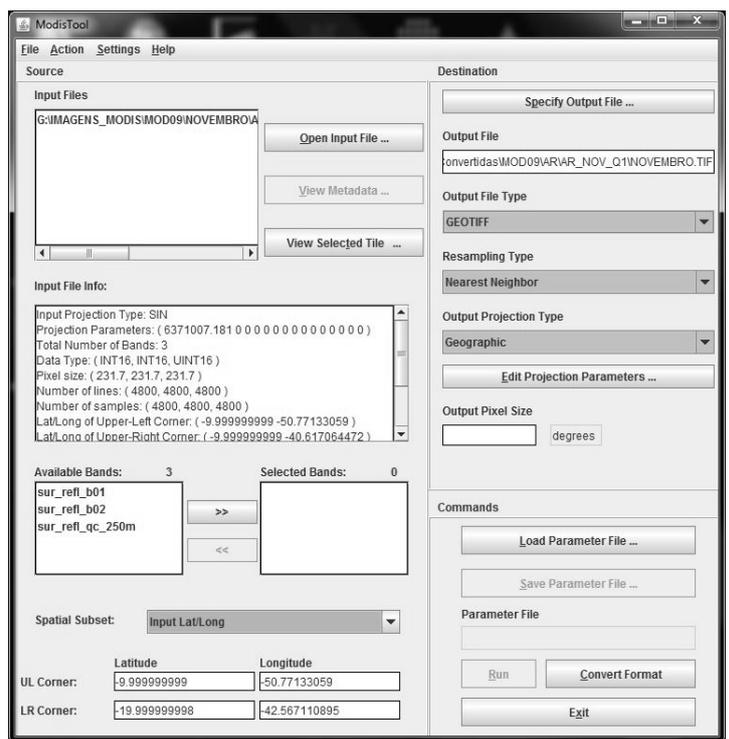
<b>Bits</b>	<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Descrição</b>
0-1	Qualidade do IV	00	IV produzido com boa qualidade
		01	IV produzido com qualidade duvidosa
		10	Pixel produzido, porém provavelmente com nuvens
		11	Pixel não produzido
2-5	Utilidade do IV	0000	Qualidade perfeita
		0001	Alta qualidade
		0010	Boa qualidade
		0100	Qualidade média
		1000	Qualidade aceitável
		1001	Qualidade Regular
		1010	Qualidade intermediária
		1100	Baixa qualidade
		1101	Qualidade ruim, não permitindo o uso
		1110	Dado Faltante
1111	Dado não utilizável por outra razão/não processado		
6-7	Quantidade de Aerosol	00	Correção atmosférica baseada em climatologia
		01	Baixa
		10	Intermediária
		11	Alta
8	Nuvem adjacente	0	Não
		1	Sim
9	Correção BRDF	0	Não
		1	Sim
10	Nuvens misturadas	0	Não
		1	Sim
11-13	Máscara Água/Terra	000	Oceano raso
		001	Terra
		010	Oceano costeiro e praia
		011	Águas de baixa profundidade
		100	Águas efêmeras
		110	Águas profundas continentais
111	Oceano profundo		
14	Neve/Gelo	0	Não
		1	Sim
15	Possível sombra	0	Não
		1	Sim

A escolha das imagens do MODIS foi feita tendo como critério exclusivamente as datas das coletas espectrorradiométricas realizadas em campo, buscando períodos próximos às mesmas, conforme quadro 08. As imagens obtidas correspondem ao *Tile* H13V10 e foram reprocessadas no *Modis Reprojection Tool* (MRT) para conversão do formato HDF para TIFF, reprojetaadas para Datum WGS84 e sistema de coordenadas geográficas, figura 12.

Quadro 08: Composição das imagens MODIS utilizadas

<b>Período de composição das imagens do produto MOD13 utilizadas</b>			
Data da coleta de campo		Período de composição da imagem MODIS	
Área 1	Área 2	Área 1	Área 2
16/07/2013	09/07/2013	12/07 a 27/07/13	26/06 a 11/07/13
14/08/2013	12/08/2013	13/08 a 28/08/13	28/07 a 12/08/13
20/09/2013	12/09/2013	14/09 a 29/09/13	29/08 a 13/08/13
21/10/2013	11/10/2013	16/10 a 31/10/13	30/09 a 15/10/13
13/11/2013	11/11/2013	01/11 a 15/11/13	01/11 a 16/11/13
07/01/2014	09/01/2014	01/01 a 16/01/14	01/01 a 16/01/14

Figura 12: Exemplo do Aplicativo MRT durante reprojeção das imagens utilizadas



As áreas dos experimentos foram delimitadas a partir do levantamento das coordenadas geográficas, colhidas com o uso de um receptor GPS Garmim III Plus, disponibilizado pelo Laboratório de Biofísica Ambiental da Embrapa Cerrados. Os pontos foram importados no software ArcGis 10.2 e criados *shapefiles* para cada uma das áreas dos experimentos (AR e LT). Como os experimentos foram conduzidos em áreas pequenas (0,2ha cada) em comparação ao pixel do MODIS de 250 metros no produto utilizado, procedeu-se com a criação de dois *shapefiles* para delimitação das pastagens onde estão inseridos os experimentos. Esses polígonos foram criados a partir de uma imagem do satélite Landsat-8 do dia 29/07/13. Este novo satélite entrou em operação em 2013, possui uma banda pancromática com resolução espacial de 15 metros, oito bandas multiespectrais e duas bandas TIRS (termais), com resolução de 100 metros, de acordo com quadro 09. A banda pancromática ao ser fusionada com as bandas multiespectrais de 30 metros, gera um cena com resolução final de 15 metros. A resolução radiométrica é de 16 Bits, período de revisita de 16 dias e as imagens são entregues no formato GeoTiff. As imagens do Landsat-8 estão disponíveis gratuitamente no site <http://earthexplorer.usgs.gov/> entregues já ortorretificadas, dispensando o processo de georreferenciamento. As imagens são disponibilizadas na projeção UTM, Datum WGS 1984, fuso 23N, sendo necessária a reprojeção para o fuso 23S.

Quadro 09: Bandas do Landsat-8 e seus respectivos comprimentos de onda

<b>Bandas Landsat-8</b>	<b>Comprimento de onda (micrometros)</b>	<b>Resolução (metros)</b>
Band 1 – Coastal aerosol	0.43 – 0.45	30
Band 2 – Blue	0.45 – 0.51	30
Band 3 – Green	0.53 – 0.59	30
Band 4 – Red	0.64 – 0.67	30
Band 5 – NearInfrared (NIR)	0.85 – 0.88	30
Band 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Band 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Band 8 – Panchromatic	0.50 – 0.68	15
Band 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30
Band 10 – ThermalInfrared (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
Band 11 – ThermalInfrared (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

Fonte: NASA, 2013.

Utilizou-se a composição colorida de bandas RGB 654, equivalente às bandas 543 do sensor TM, referente às áreas de pastagem onde estão localizados os experimentos, na unidade da Embrapa Cerrados.

Todos os vetores criados foram utilizados como máscara de entrada para leitura dos valores dos *pixels* referentes às áreas de estudo no que diz respeito ao NDVI e EVI, observando o fator de escala para conversão dos valores apresentados em cada *pixel* da imagem.

Foi criada uma máscara a partir dos dados das imagens (*VI-Quality e pixel-reliability*) a fim de eliminar algum dado de qualidade duvidosa. Verificou-se que em todas as imagens os *pixels* de interesse possuíam boa qualidade para utilização. Também foi possível verificar que ambas as áreas dos experimentos estavam contidas em um único *pixel* das imagens utilizadas, o que viabilizou a execução desta etapa do trabalho.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item do trabalho apresenta os resultados encontrados em cada etapa de desenvolvimento da pesquisa seguindo a metodologia descrita. Estão relacionados os dados obtidos em campo para biomassa, reflectância, radiação solar, NDVI, EVI, eficiência fotossintética e produtividade primária líquida. Os dados estimados com uso do sensor MODIS também estão relacionados. Por fim, faz-se uma comparação dos valores obtidos e uma análise estatística a fim de comprovar ou não as hipóteses propostas.

### 4.1 Biomassa

De acordo com os resultados obtidos para o período analisado, a Área 1 apresentou valores discretamente maiores de biomassa total em relação à Área 2, os valores estão expressos na tabela 03 e gráfico 1. Essa diferença pode ser explicada pela característica da área 1 que apresenta capim mais entouceirado enquanto a área 2 se mostra mais uniforme. Outro fator é a aleatoriedade da escolha das amostras, que eventualmente ocorria em parcelas com presença de maior volume de capim.

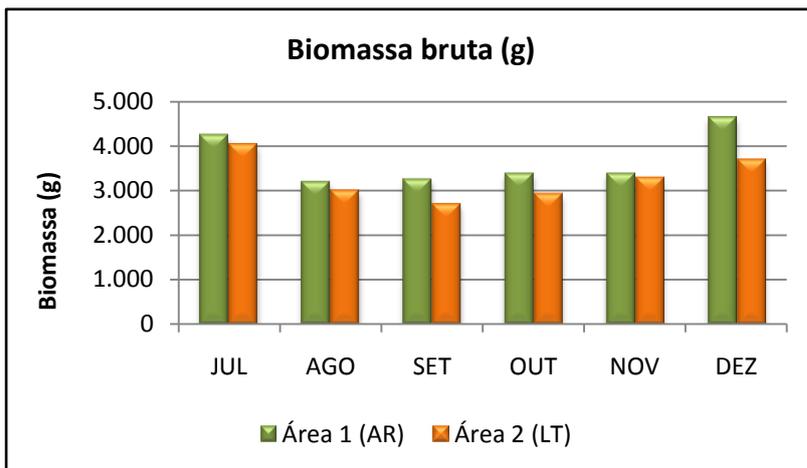
Tabela 03: Biomassa bruta das áreas estudadas, por tipo

BIOMASSA (g)						
	Área 1 (AR)			Área 2 (LT)		
	Seca	Verde	Total área 1	Seca	Verde	Total área 2
JUL	3.258,04	988,66	4.246,70	2.960,22	1.080,73	4.040,95
AGO	2.494,06	709,16	3.203,22	2.461,61	544,41	3.006,02
SET	2.671,77	586,47	3.258,24	2.365,12	339,78	2.704,90
OUT	2.568,76	818,00	3.386,76	2.442,41	489,84	2.932,25
NOV	2.277,64	1.110,87	3.388,51	2.473,46	820,50	3.293,96
DEZ	3.133,04	1.513,14	4.646,18	2.305,80	1.388,76	3.694,56
<b>TOTAL</b>	<b>16.403,31</b>	<b>5.726,30</b>	<b>22.129,61</b>	<b>15.008,62</b>	<b>4.664,02</b>	<b>19.672,64</b>

A partir da análise da tabela 03, nota-se ao longo dos meses um decréscimo da biomassa verde de julho a setembro, seguido de um aumento gradual a partir de outubro coincidindo com o início do período chuvoso. Esse comportamento é observado nas duas áreas, porém a área 2 apresentou uma diminuição da biomassa verde mais significativa do que a área 1.

Para AR, a matéria seca não apresentou um comportamento regular, teve uma diminuição significativa do mês de julho para agosto, aumentou de agosto para setembro e então cai entre setembro e novembro, voltando a apresentar um acréscimo de novembro a dezembro. Já para LT houve decréscimo entre julho e setembro, aumenta entre setembro e novembro e sofre uma ligeira diminuição de novembro para dezembro.

Gráfico 01: Total da Biomassa bruta mensal



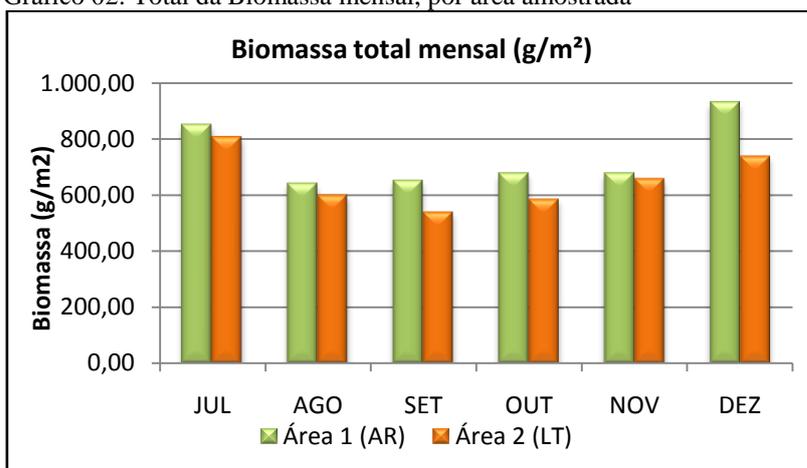
Os gráficos com o quantitativo de biomassa mensal e por parcela amostrada estão relacionados no Apêndice A.

Seguindo a metodologia adotada por Franco e Rosa (2003), representado na equação 01, foi feito o cálculo da biomassa pela área de coleta do gabarito de campo, igual a 0,25 m<sup>2</sup>. Os resultados estão expressos na tabela 04 e gráfico 02.

Tabela 04: Biomassa por área amostrada

<b>BIOMASSA (g/m<sup>2</sup>)</b>						
	Área 1 (AR)			Área 2 (LT)		
	Seca	Verde	Total área 1	Seca	Verde	Total área 2
JUL	197,73	651,61	849,34	216,15	592,04	808,19
AGO	141,83	498,81	640,64	108,88	492,32	601,20
SET	117,29	534,35	651,65	67,96	473,02	540,98
OUT	163,60	513,75	677,35	97,97	488,48	586,45
NOV	222,17	455,53	677,70	164,10	494,69	658,79
DEZ	302,63	626,61	929,24	277,75	461,16	738,91
<b>TOTAL</b>	<b>2.039,65</b>	<b>5.623,39</b>	<b>7.663,04</b>	<b>2.039,65</b>	<b>5.623,39</b>	<b>7.595,63</b>

Gráfico 02: Total da Biomassa mensal, por área amostrada



## 4.2 Índices de Vegetação – EVI e NDVI

Nos três primeiros meses analisados, observa-se uma queda contínua nos valores de EVI, que volta a aumentar a partir do mês de outubro, coincidindo com o início da estação chuvosa, responsável pelo aumento da biomassa, conforme mostrado nas tabelas 05, 06 e gráfico 03.

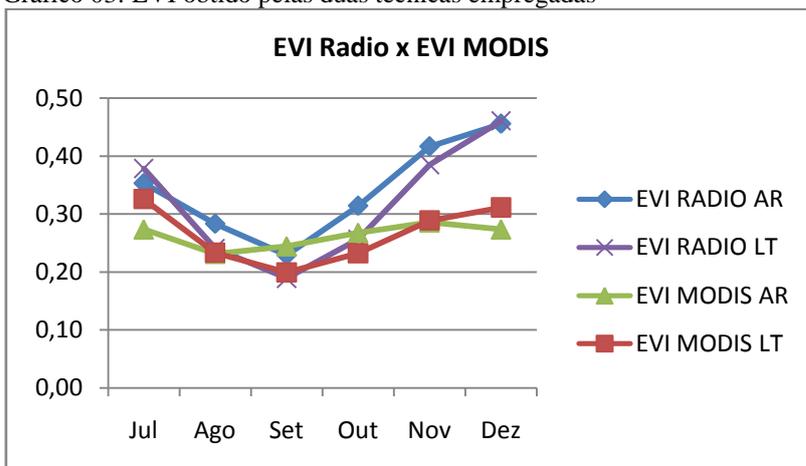
Tabela 05: Valores de EVI obtidos por espectrorradiometria

EVI - por Espectrorradiometria						
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Área 1 (AR)	0,353	0,283	0,229	0,314	0,417	0,456
Área 2 (LT)	0,379	0,240	0,189	0,257	0,385	0,461

Tabela 06: Valores de EVI obtidos pelo sensor MODIS

EVI - MODIS						
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Área 1 (AR)	0,274	0,232	0,245	0,268	0,286	0,274
Área 2 (LT)	0,326	0,233	0,199	0,232	0,289	0,311

Gráfico 03: EVI obtido pelas duas técnicas empregadas



Os valores de NDVI para AR e LT tiveram comportamento semelhante, sofreram queda entre julho e setembro e voltaram a aumentar a partir de outubro, o que também foi observado nas medidas de campo, tabelas 07, 08 e gráfico 04. Uma vez que o NDVI varia em função da biomassa, textura do solo e da energia refletida no vermelho e infravermelho próximo, que por sua vez está relacionada à atividade fotossintética da vegetação, os valores obtidos são considerados plausíveis.

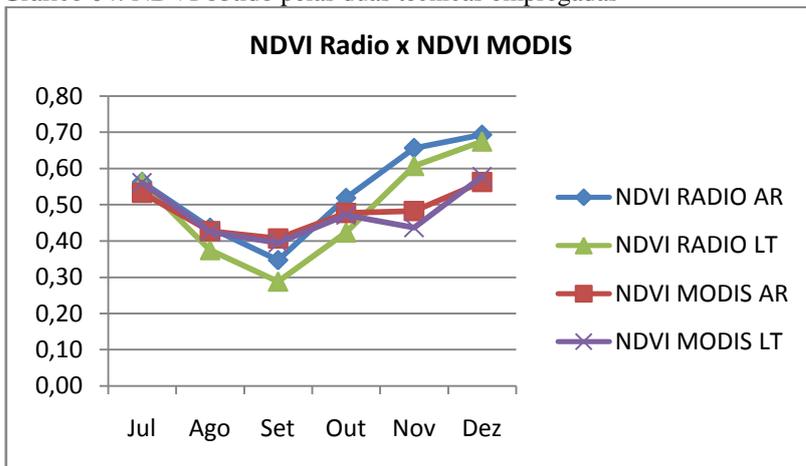
Tabela 07: Valores de NDVI obtidos por espectrorradiometria

NDVI - por espectrorradiometria						
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Área 1 (AR)	0,563	0,437	0,347	0,519	0,657	0,694
Área 2 (LT)	0,563	0,375	0,288	0,424	0,608	0,675

Tabela 08: Valores de NDVI obtidos pelo sensor MODIS

NDVI - MODIS						
	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Área 1 (AR)	0,534	0,428	0,407	0,478	0,483	0,564
Área 2 (LT)	0,561	0,426	0,395	0,472	0,437	0,578

Gráfico 04: NDVI obtido pelas duas técnicas empregadas



### 4.3 Relação entre a biomassa e os índices de vegetação

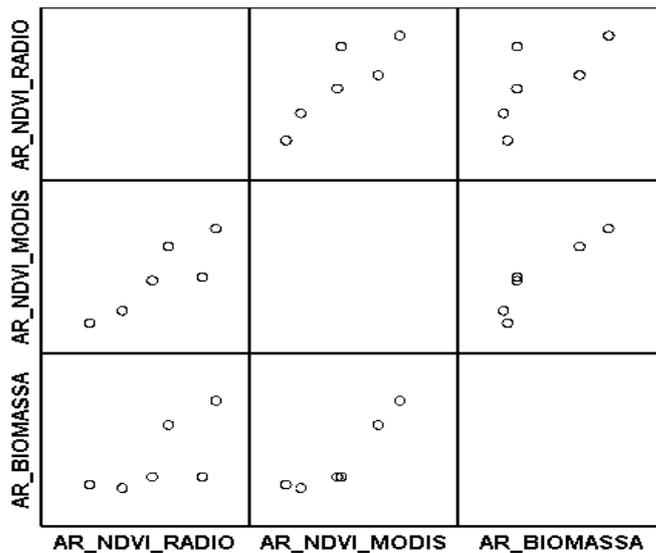
Na literatura é descrita a relação existente entre os índices de vegetação conhecido e a biomassa. Para melhor compreensão a respeito desta relação, foram elaborados gráficos de dispersão a fim de realizar uma análise do comportamento entre as variáveis medidas em campo e por meio do MODIS com os valores de biomassa encontrados. Os cruzamentos foram realizados para ambas as áreas em estudo. Na figura 13 está representada a relação entre o NDVI medido pelas duas técnicas utilizadas nesta pesquisa com a biomassa para área 1. Nota-se que há relação estreita entre os índices e a biomassa em todo o período, pois à medida que os valores de NDVI sofreram um decréscimo, a biomassa também diminuiu, ou seja, o contrário também ocorreu quando houve aumento do índice a biomassa também aumentou configurando uma correlação positiva. Nos meses de setembro e novembro essa tendência não foi observada. Em setembro os índices sofreram um decréscimo e a biomassa teve um pequeno aumento. Já em novembro, o NDVI radiométrico teve um aumento que não foi acompanhado por um aumento da biomassa, esta se manteve praticamente a mesma em relação ao mês anterior, comportamento observado também para o NDVI do MODIS.

Para a área 2 foi observado um padrão de relação semelhante na relação entre NDVI e biomassa. Apenas no mês de novembro houve uma diferença. O EVI sofreu uma diminuição, mas a biomassa sofreu um aumento em seu valor, acompanhando e estabelecendo relação mais próxima ao NDVI neste caso.

Utilizando uma versão gratuita para teste do Software SPSS 22, os valores de NDVI obtidos por Radiometria e pelo MODIS, foram cruzados com os valores de Biomassa calculados, considerando n = 6, representando os seis meses da pesquisa/coleta.

A figura 13 apresenta o diagrama de dispersão matricial (*scatterplot*) que permite essa análise. Na tabela 09 a leitura é feita cruzando-se a última linha (da biomassa) com as colunas, valores de NDVI para a Área 01, solo arenoso.

Figura 13: Diagrama de dispersão entre NDVI e biomassa - AR



Apesar do valor de n ser baixo para uma correlação, o cálculo pode ser feito pelo coeficiente de Pearson dado que as variáveis são quantitativas e o diagrama sugeriu linearidade. Na tabela 09 observa-se a matriz de correlações para a área 1, onde a segunda linha é o foco da análise e Sig é o nível de significância.

Tabela 09: Coeficiente de Pearson para área 1 – biomassa x NDVI

		AR_NDVI_RADIO	AR_BIOMASSA	AR_NDVI_MODIS
AR_BIOMASSA	Correlação de Pearson	0,666	1	0,920**
	Sig. (1 extremidade)	0,074		0,005
	N	6	6	6

\*A correlação é significativa no nível 0,05 (1 extremidade).

\*\*A correlação é significativa no nível 0,01 (1 extremidade).

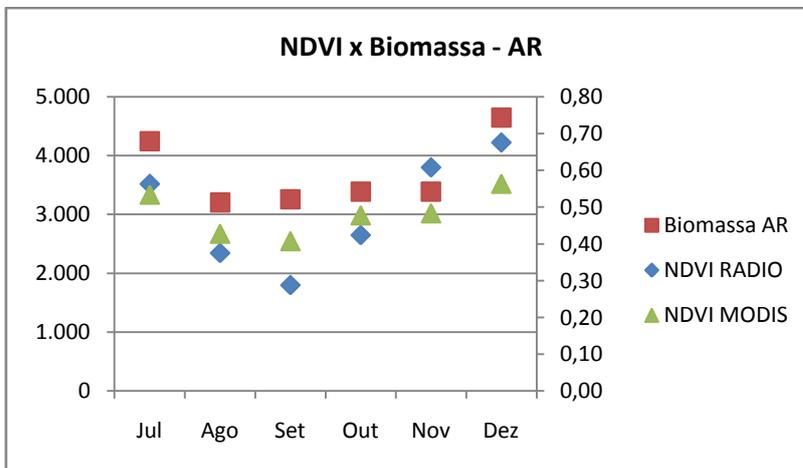
Logo, identifica-se moderada correlação linear positiva de Pearson entre as variáveis: Biomassa e NDVI obtidos via radiometria, indicando que quando os valores de NDVI

aumentam ou diminuem, a biomassa segue a mesma tendência. Entretanto, esse resultado não pode ser generalizado para a população, pois  $Sig = 0,074 > 0,005$ .

Já entre a Biomassa e os valores de NDVI obtidos via MODIS, há uma fortíssima correlação linear de Pearson positiva, o que significa que quando o índice aumenta, a Biomassa aumenta, e quando ele cai a Biomassa também tende a sofrer decréscimo. Tal análise é inferencial e significativa, pois  $Sig$  do  $r$ -Pearson =  $0,005 < 0,05$ .

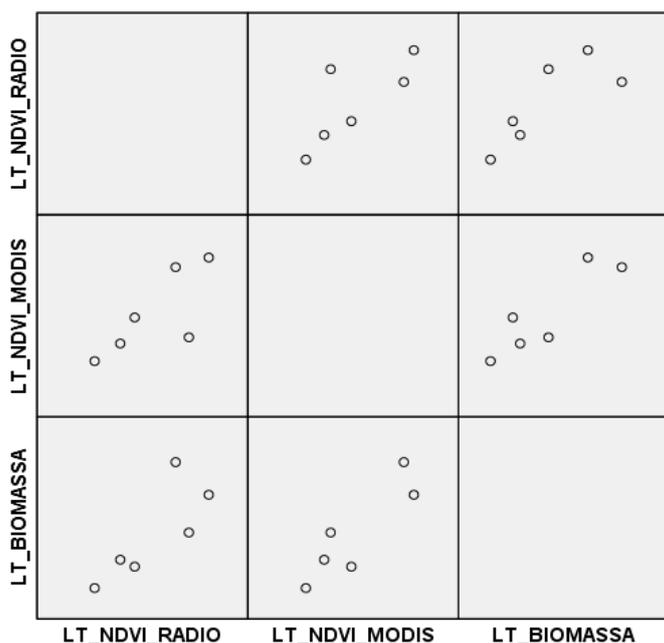
Pelo diagrama de dispersão do Excel, gráfico 05, apesar de a intensidade de cada correlação ser menos visível, ainda é possível perceber o mesmo fenômeno da influência dos valores de NDVI sobre a Biomassa dessa área 01.

Gráfico 05: Relação entre NDVI e Biomassa para área 1



Na sequência, o diagrama de dispersão matricial com as mesmas variáveis, mas com os dados da área 2, conforme figura 14.

Figura 14: Diagrama de dispersão entre NDVI e biomassa - LT



Analisando a linha da biomassa na figura 14, percebe-se uma linearidade sugerida no cruzamento com as colunas do NDVI, 01 e 02.

Novamente, os índices de correlação foram calculados pelo coeficiente de correlação linear de Pearson e os resultados estão apresentados na tabela 10, que foi restringida à linha focal.

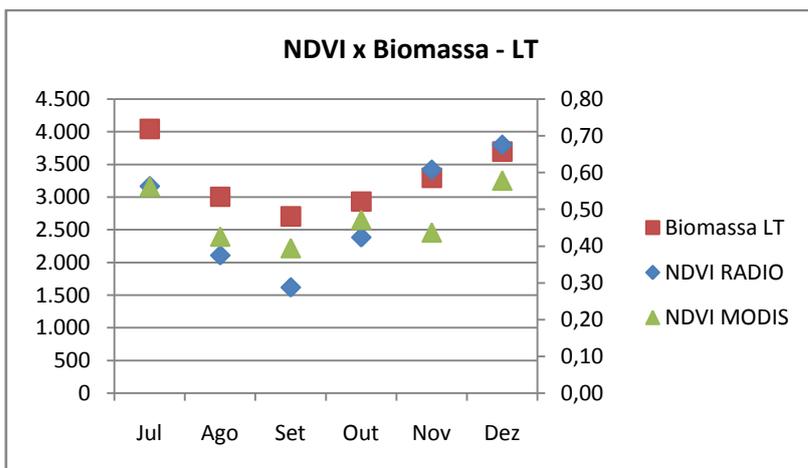
Tabela 10: Coeficiente de Pearson para área 2 – biomassa x NDVI

		LT_NDVI_RADIO	LT_NDVI_MODIS	LT_BIOMASSA
LT_BIOMASSA	Correlação de Pearson	0,805*	0,886**	1
	Sig. (1 extremidade)	0,027	0,009	
	N	6	6	6

Neste caso, ambas as correlações são positivas, igualmente fortes e podem ser inferidas para a população, já que ambos Sig de *r-Pearson* foram menores que 0,05.

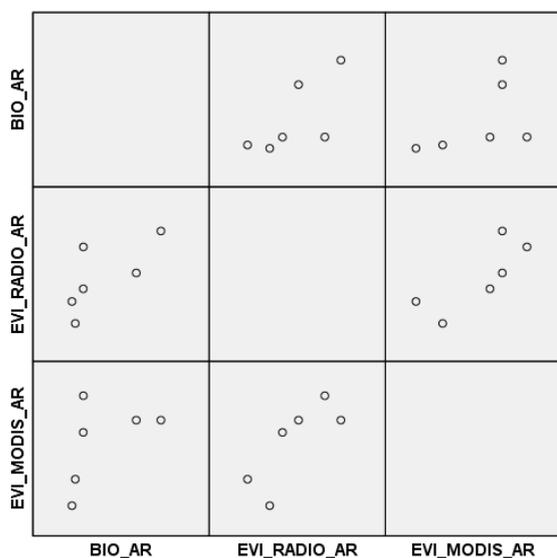
Por fim, com o gráfico feito no Excel, percebe-se a correlação entre as variáveis pela tendência da Biomassa variar de acordo com os valores de NDVI desta área, de acordo com gráfico 06.

Gráfico 06: Relação entre NDVI e Biomassa para área 2



Os dados de EVI também foram testados no SPSS 22 a fim de estabelecer a correlação entre esse índice, obtido em campo e pelo MODIS, com a biomassa. A figura 15 traz o diagrama de dispersão matricial. Analisando as duas correlações da primeira linha da matriz, percebe-se que não há uma linearidade bem delineada que sugira forte correlação entre a biomassa e os valores de EVI obtidos pela Radiometria e pelo MODIS, para a Área 01 – Solo arenoso (AR).

Figura 15: Diagrama de dispersão entre EVI e biomassa - AR



Mesmo com pouca linearidade detectada, foi utilizado o coeficiente de Pearson para calcular as correlações, já esperando que elas não sejam muito fortes. Os resultados seguem na tabela 11:

Tabela 11: Coeficiente de Pearson para área 1 – biomassa x EVI

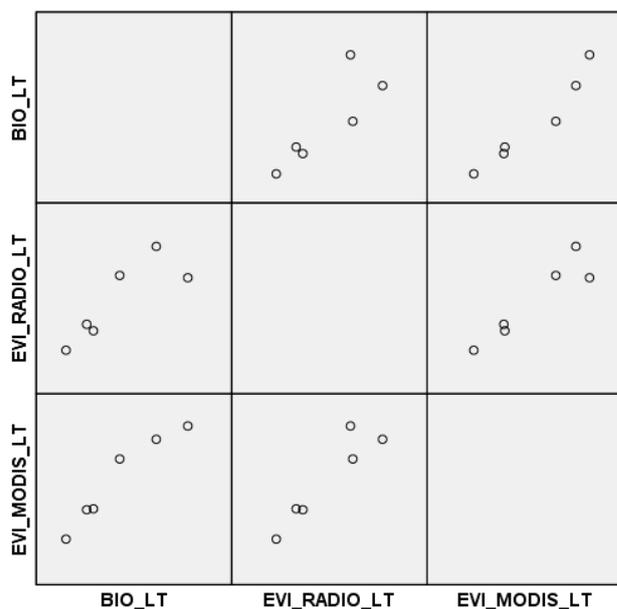
Correlações				
		BIO_AR	EVI_RADIO_AR	EVI_MODIS_AR
BIO_AR	Correlação de Pearson	1	0,698	0,503
	Sig. (1 extremidade)		0,062	0,154
	N	6	6	6

\*. A correlação é significativa no nível 0,05 (1 extremidade).

Pelos resultados, identifica-se na amostra moderada correlação linear positiva Pearson entre a biomassa e os valores de EVI para área 1. Porém, tais correlações não são estatisticamente significantes, o que impossibilita sua inferência para a população, dado que o *sig* de *r-Pearson*, em ambos os casos foram superiores a 0,05 isto é, não há como inferir tal informação para a população nem ao menos com 95% de confiança.

Já para a Área 02 – Latossolo, pelo diagrama apresentado na figura 16 é perceptível a linearidade entre as variáveis trabalhadas, indicando correlações mais fortes em relação à Área 01 e igualmente positivas.

Figura 16: Diagrama de dispersão entre EVI e biomassa - LT



Para confirmar o que os gráficos sugerem, segue a tabela 12 com os valores calculados de *r-Pearson* através do software estatístico.

Tabela 12: Coeficiente de Pearson para área 2 – biomassa x EVI

Correlações				
		BIO_LT	EVI_RADIO_LT	EVI_MODIS_LT
BIO_LT	Correlação de Pearson	1	0,842*	0,967**
	Sig. (1 extremidade)		,018	0,001
	N	6	6	6

\*. A correlação é significativa no nível 0,05 (1 extremidade).

\*\*. A correlação é significativa no nível 0,01 (1 extremidade).

Pelos resultados, identifica-se que as correlações são positivas e que ambas podem ser inferidas para a população, já que nos dois casos, o sig de r-Pearson foram menores que 0,05. Porém, é importante destacar que entre a biomassa e o EVI do MODIS a correlação foi considerada fortíssima e extremamente significativa.

De forma geral, as correlações positivas nas duas áreas indicam que o aumento ou diminuição dos valores de EVI fazem com que a Biomassa acompanhe essas tendências, mesmo que com intensidade e proporção diferente, mas sempre com relação direta, e não inversa, conforme pode ser observado nos gráficos 07 e 08.

Gráfico 07: Relação entre EVI e Biomassa para área 1

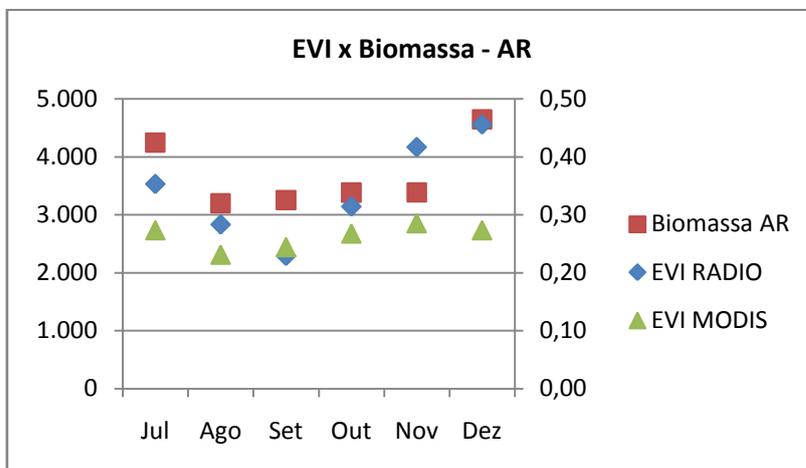
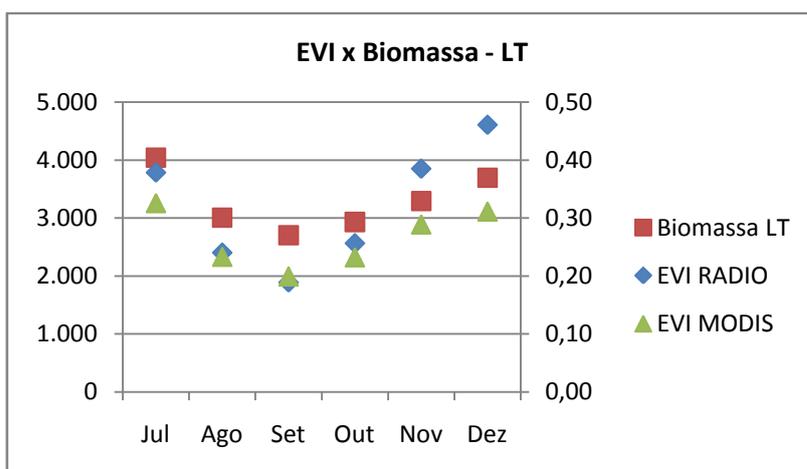


Gráfico 08: Relação entre EVI e Biomassa para área 2



#### 4.4 Reflectância

As leituras realizadas em campo com o espectrorradiômetro foram tabuladas, geradas as médias acumuladas e os resultados para os meses analisados podem ser observados nas figuras 17 e 18.

Em ambas as curvas espectrais há a presença de ruído a partir de 900nm até o final do espectro. Essa característica, segundo o fabricante, pode ser gerada pela sensibilidade do sensor ótico do aparelho em relação às variações das condições atmosféricas e de iluminação. É possível observar que nas duas áreas o comportamento espectral é semelhante para toda a faixa do espectro na qual o aparelho realiza a leitura, de 325 a 1075nm.

Com esses valores e, levando em conta os comprimentos de onda das bandas do vermelho (620 a 670 nm), azul (459 a 479 nm) e infravermelho próximo (841 a 876 nm) do sensor MODIS, calculou-se o NDVI e EVI das parcelas amostradas.

Figura 17: Médias de reflectância na área 1

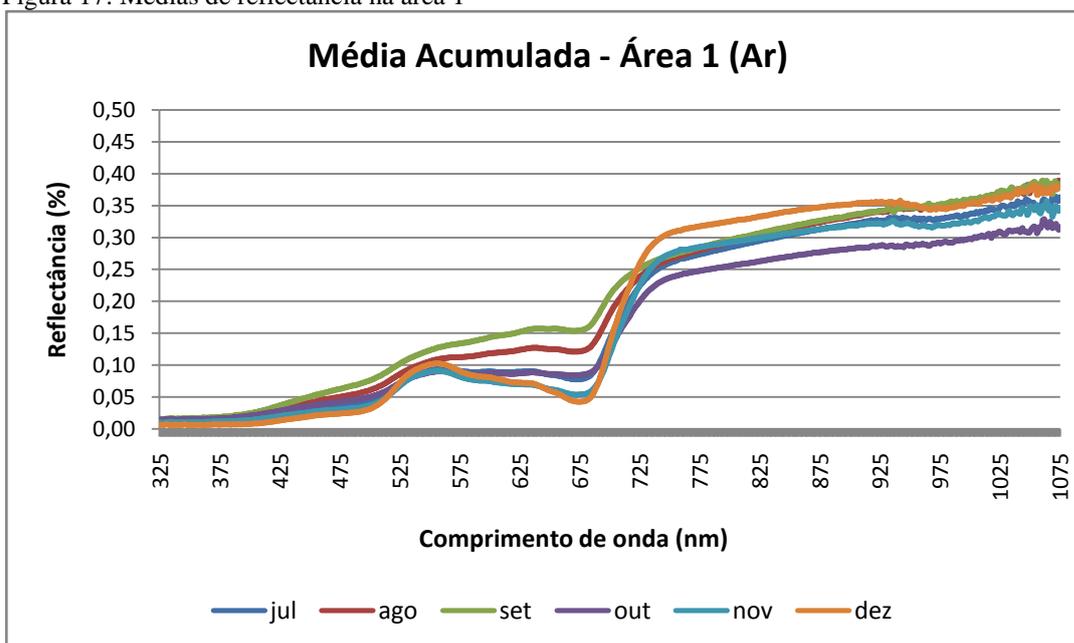
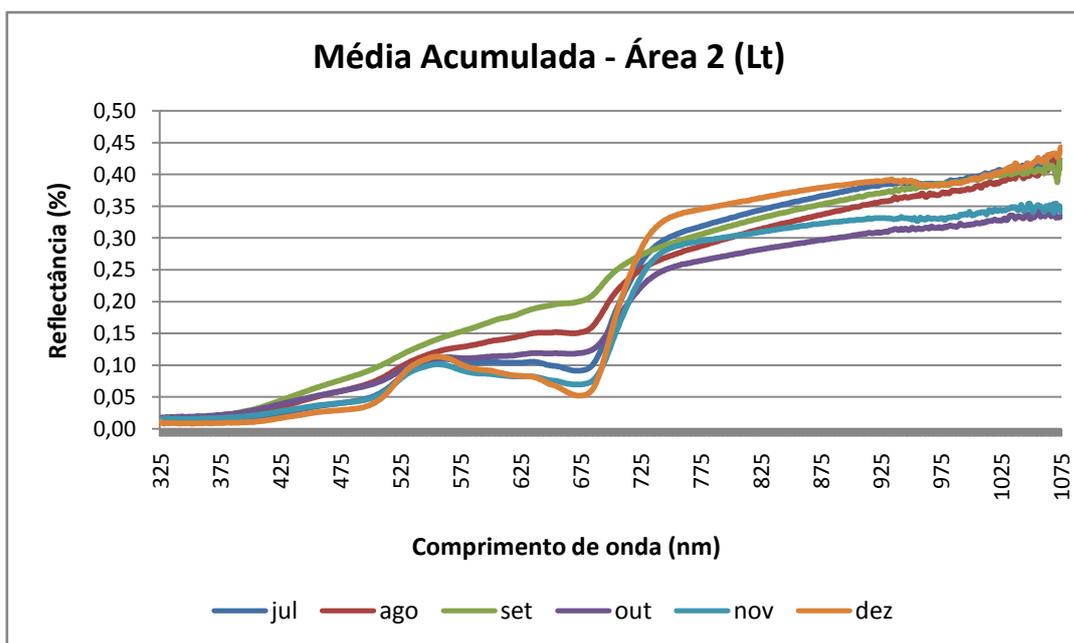


Figura 18: Médias de reflectância na área 2



Sabe-se que a folha absorve energia radiante de forma eficiente nas faixas do azul e do vermelho, regiões espectrais necessárias ao processo de fotossíntese. Como há uma alta intensidade de energia na faixa do infravermelho próximo, as plantas se adaptaram para não absorver a energia com a mesma efetividade com a qual fazem no visível, do contrário ela poderia se aquecer ao ponto de danificar sua estrutura celular. Dessa forma a reflectância

aumenta consideravelmente na faixa do infravermelho próximo. Segundo Jensen (2009), uma vegetação verde sadia é geralmente caracterizada por uma alta reflectância, de 40 a 60% na região do infravermelho próximo. Quando ocorrem alterações nesta faixa do espectro, sugere-se algum nível de estresse na vegetação ou mesmo um processo de senescência. O comportamento espectral obtido neste trabalho também pode ser resultado da não cobertura total do substrato das parcelas amostradas de forma que o comportamento espectral tenha sido influenciado pela reflectância do solo, o que aponta para uma redução da reflectância em praticamente todos os comprimentos de onda. Entretanto, os resultados encontrados são consistentes com o que é relatado na literatura. Novo (2010) afirma que de acordo com os fatores que condicionam o comportamento espectral de uma vegetação fotossinteticamente ativa, até 700nm a reflectância é baixa (abaixo de 20%); em 560nm há um ligeiro aumento, mais ainda inferior a 20%, este é o ponto responsável pela percepção da cor verde; de 700 a 1300nm há alta reflectância (entre 30 e 40%) fortemente condicionada pela estrutura celular (mesófilo).

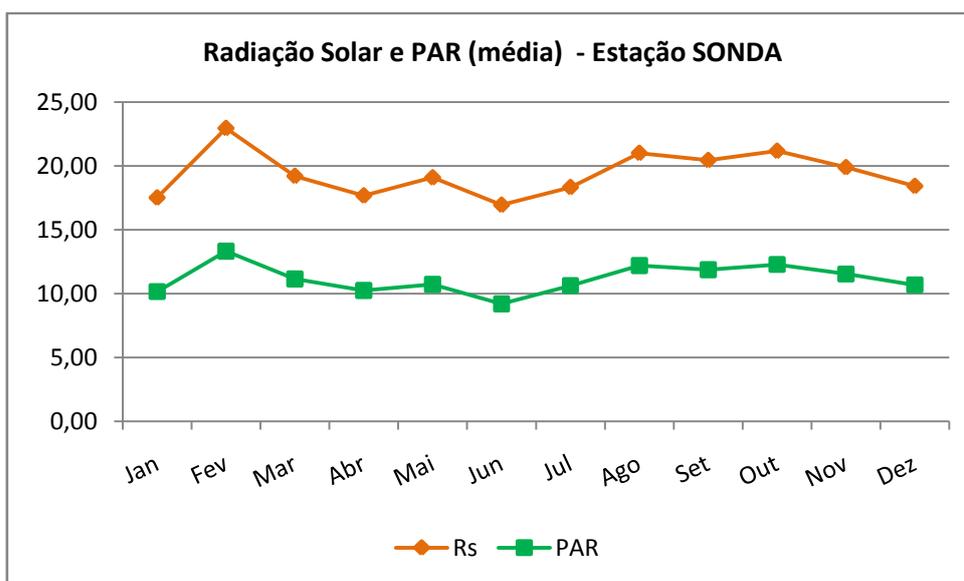
#### **4.5 Produtividade Primária Líquida (PPL)**

##### **4.5.1 PPL a partir de dados espectralradiométricos de campo**

A fim de se determinar a PPL das áreas de pastagem estudadas a partir de dados coletados em campo seguiu-se a metodologia proposta neste trabalho. Uma das primeiras etapas foi a aquisição dos dados de radiação solar global na estação do Projeto SONDA, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE – localizada na unidade da Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF. Embora existam duas estações meteorológicas instaladas na unidade da Embrapa optou-se pela utilização dos dados do projeto SONDA, dada sua maior confiabilidade. Utilizando a equação 05 descrita na metodologia, foi possível chegar ao valor de PAR para os meses estudados.

As médias mais baixas de RS e PAR encontradas foram no mês de junho, 16,95 e 9,20 MJ/m<sup>2</sup> dia. As maiores médias foram registradas em fevereiro, 22,97 e 13,32 MJ/m<sup>2</sup> dia, conforme gráfico 09. A média anual da radiação foi de 19,40 MJ/m<sup>2</sup> dia, enquanto a média PAR para o ano foi de 11,17 MJ/m<sup>2</sup> dia.

Gráfico 09: Médias de radiação solar e PAR



Nos trabalhos científicos encontrados, que se propuseram ao cálculo da produtividade primária, verificou-se que não há um consenso a respeito dos valores assumidos de  $\xi_f$  para diferentes tipos de vegetação, pois a eficiência fotossintética pode variar consideravelmente em função da disponibilidade de nutrientes, temperatura e umidade do solo, por exemplo. Essa junção de fatores dificulta a estimativa de PPL para uma determinada cultura agrícola. Prince (1991 apud BASTIAANSEN, 2003) realizou um estudo com diferentes culturas e tipos de vegetação encontrando valores de  $\xi_f$  entre 0,2 e 4,8 g/MJ. Para calcular a PPL, realizou-se neste trabalho levantamentos de campo e o valor assumido para  $\xi_f$  foi de 0,50 g/MJ e 0,36 g/MJ para as áreas 1 e 2, respectivamente. Os valores de NDVI, EVI, PAR, APAR, fAPAR e PPL estão apresentados na tabela 13.

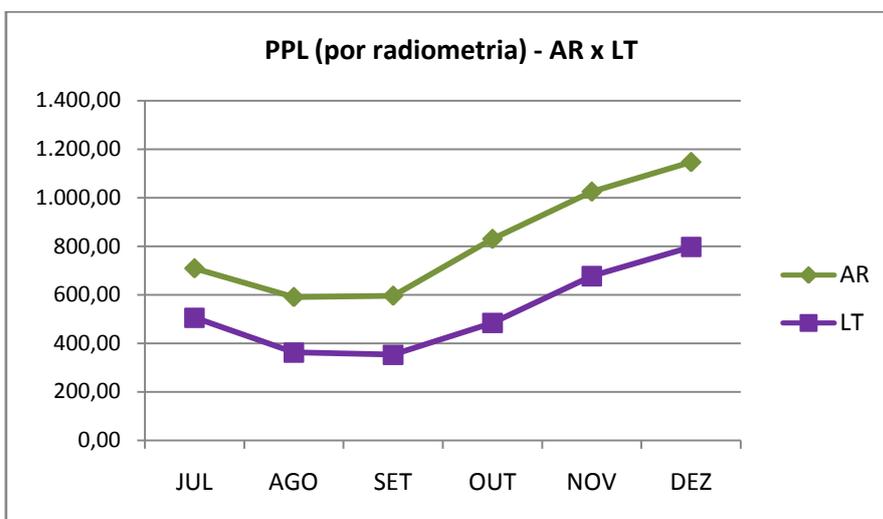
Tabela 13: Resultados obtidos a partir de dados de campo

	PAR	APARac		fAPAR		PPL (kg/ha mês)	
	(MJ/m²)	(MJ/m²)		AR	LT	AR	LT
	AR/LT	AR	LT	AR	LT	AR	LT
Julho	329,74	174,90	174,62	0,53	0,53	708,91	505,65
Agosto	377,95	141,18	112,24	0,37	0,30	590,42	362,03
Setembro	352,92	92,66	66,74	0,26	0,19	595,93	352,99
Outubro	380,88	181,17	136,16	0,48	0,36	830,08	483,96
Novembro	341,39	220,85	199,81	0,65	0,59	1.025,18	676,76
Dezembro	331,32	229,38	221,65	0,69	0,67	1.147,24	797,09

Analisando a tabela 13, observa-se que de julho para agosto o valor da PPL para área 1 reduz e a partir de setembro volta a aumentar atingindo valor máximo de 1.147,24 kg/ha mês, em dezembro.

Na área 2, que apresentou valores menores do que a área 1, a PPL sofreu redução até o mês de setembro, volta a aumentar a partir de outubro e atinge valor máximo em dezembro, com 797,09 kg/ha mês. No entanto, ao visualizar os valores por meio do gráfico 10, nota-se um comportamento semelhante das curvas para ambas as áreas.

Gráfico 10: PPL obtida por meio de dados de radiometria



#### 4.5.2 PPL a partir de dados do sensor MODIS

Os valores de PPL encontrados para sensor MODIS foram calculados mediante o uso do NDVI e fAPAR disponíveis nos produtos MOD13 e MOD15, a PAR obtida pela estação SONDA e a eficiência fotossintética calculada com dados de matéria seca coletada em campo. A metodologia aplicada para os cálculos com dados do sensor MODIS foi a mesma utilizada nos cálculos com dados espectrorradiométricos de campo. Foram aplicadas as mesmas equações sendo que os valores de NDVI e fAPAR diferiram porque foram coletados a partir da leitura dos valores dos pixels das imagens de cada período. Os resultados encontrados estão representados na tabela 14.

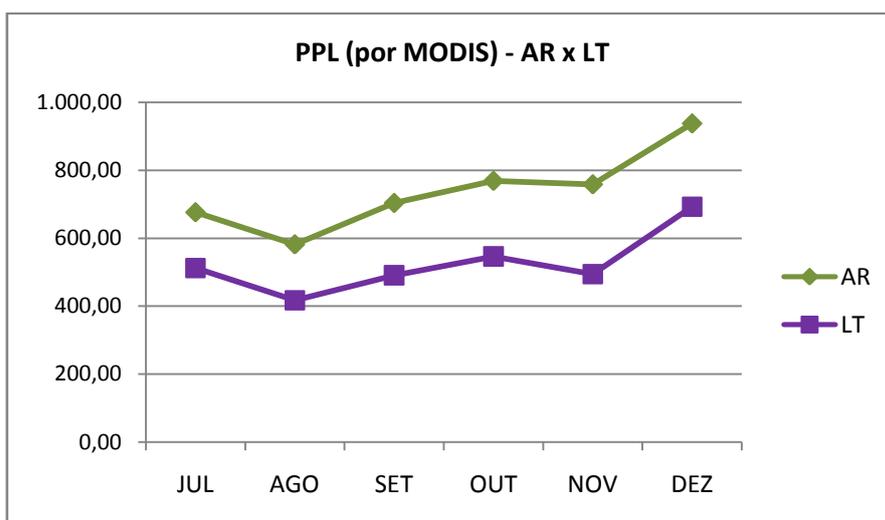
Tabela 14: Resultados obtidos a partir de dados MODIS

	APARac (MJ/m <sup>2</sup> dia)		fAPAR		PPL (kg/ha mês)	
	AR	LT	AR	LT	AR	LT
Julho	162,90	174,11	0,49	0,53	675,90	511,62
Agosto	136,95	136,10	0,36	0,36	581,58	416,97
Setembro	119,00	113,44	0,34	0,32	703,32	490,61
Outubro	161,63	158,70	0,42	0,42	768,36	546,04
Novembro	147,20	127,68	0,43	0,37	758,15	493,79
Dezembro	175,84	181,80	0,53	0,55	937,22	692,16

Analisando a tabela 14, a PPL sofreu redução do mês de julho a agosto, na área 1, quando então volta a aumentar, atingindo valor máximo para o período no mês de dezembro, com 937,22 kg/ha mês.

A área 2, assim como os valores encontrados utilizando dados de campo, os valores de PPL foram menores durante todo o período. Sofreram redução entre julho e agosto, um pequeno aumento foi observado no mês de setembro, tendo sido seguido nos meses posteriores, com valor máximo no mês de dezembro, com 692,16 kg/ha mês. Conforme gráfico 11 pode-se observar que o padrão das duas áreas foi o mesmo ao se utilizar dados do sensor MODIS.

Gráfico 11: PPL obtida por meio de dados do MODIS



### 4.5.3 Análise estatística

O teste t de Student é um teste de hipótese para rejeitar ou não uma hipótese nula quando a estatística de teste ( $t$ ) segue uma distribuição t de Student. É uma das distribuições mais utilizadas na estatística, com aplicações que vão desde a modelagem estatística até testes de hipóteses. Quando a variância da população ( $\sigma^2$ ) for desconhecida, usa-se a variância amostral  $S^2$ .

Na distribuição t-Student, os valores muito altos ou muito baixos tem pouca probabilidade de ocorrer, o que indica baixa probabilidade da média amostral apresentar valores muito discrepantes da média da população.

A distribuição no t-Student está relacionada ao número de grau de liberdade (df), ou seja, quanto maior esse número, mais concentrada será a distribuição.

O teste t consiste na formulação de uma hipótese nula e uma hipótese alternativa mediante a equação apropriada com a finalidade de medir o tamanho da área para valores maiores ou iguais a t.

Pode ser usado para comparar uma amostra com uma população; ou duas amostras; ou duas amostras independentes. A dispersão é determinada por graus de liberdade (número de observações que são livres para variar).

São usados pontos de corte para os níveis de confiança para a distribuição analisada. Os níveis usualmente empregados são 99,9%, 99,5%, 99%, 98% e 95%.

Existe uma técnica alternativa pela qual uma aproximação para a distribuição da amostragem pode ser obtida quando a distribuição da população é desconhecida.

$$t = \frac{\bar{y} - \mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \quad (9)$$

Em que  $y$  é a média amostral;  $\mu_0$  é média populacional;  $S$  é o desvio padrão da amostra; e  $n$  é o número de amostras.

O teste t-Student deve seguir alguns passos, descritos abaixo:

- ✓ Passo 1: hipóteses  
H<sub>0</sub>:  $\mu_r = \mu_m$   
H<sub>1</sub>:  $\mu_r \neq \mu_m$

Neste trabalho:  $\mu_r$  são as médias encontradas usando dados radiométricos e  $\mu_m$  são os valores medidos a partir do sensor MODIS;

- ✓ Passo 2: determinar nível de significância  $\alpha$  (teste bilateral ou unilateral);
- ✓ Passo 3: cálculo de  $t_{calc}$ ;
- ✓ Passo 4: encontrar o  $t_{crítico}$  (tabela);
- ✓ Passo 5: tomada de decisão (rejeitar ou não a hipótese);
- ✓ Passo 6: conclusão.

De posse dos valores necessários, foi aplicado o teste t-Student seguindo todos os passos descritos, os resultados encontrados para ambas as áreas são apresentados na tabela 15.

Tabela 15: Teste t-Student bilateral aplicado nas áreas 1 e 2 para PPL e NDVI

<b>Teste t-Student</b>								
Área Análise	Área 1 (AR)				Área 2 (LT)			
	PPL		NDVI		PPL		NDVI	
Mês	Rejeita H0	Não rejeita H0	Rejeita H0	Não rejeita H0	Rejeita H0	Não rejeita H0	Rejeita H0	Não rejeita H0
Julho		X		X		X		X
Agosto		X		X		X		X
Setembro		X		X	X		X	
Outubro		X		X		X		X
Novembro	X		X		X		X	
Dezembro	X		X		X		X	

Mediante análise da tabela, verifica-se que os resultados encontrados apontam para uma rejeição da hipótese  $H_0$  nos meses de novembro e dezembro quando avaliada a PPL e o NDVI para a área 1, ou seja, as médias são consideradas diferentes. De julho a outubro a hipótese não foi rejeitada, isso implica em dizer que neste período as médias de PPL e NDVI, encontradas por meio das duas técnicas aplicadas, não apresentaram diferença significativa.

Para a área 2, houve uma rejeição de  $H_0$  nos meses de setembro, novembro e dezembro, apontando para uma diferença nas médias dos valores de produtividade e NDVI. Nos demais meses não houve rejeição da hipótese  $H_0$ , ou seja, há um entendimento de que as médias são consideradas iguais para as duas técnicas utilizadas.

Após a aplicação do teste bilateral para verificação da diferença das médias, foi realizado um teste unilateral à esquerda a fim de verificar se, diante dos valores encontrados, o sensor MODIS de fato superestima a PPL para o período seco, como suposto por Rosa (2013). Nesse caso, as etapas descritas anteriormente para o teste bilateral foram igualmente seguidas observando que no passo 1 a hipótese passa a ser:

$$H_0: \mu_r < \mu_m$$

Os resultados para o teste estão relacionados na tabela 16. Para a área 1 verificou-se que a hipótese não foi rejeitada apenas no mês de setembro, ou seja, neste mês a hipótese foi aceita, o que significa dizer que os dados obtidos por espectrorradiometria são menores do que aqueles obtidos pelo MODIS. Para os demais meses analisados, a hipótese foi rejeitada, o que implica que os dados de espectrorradiometria foram maiores do que os do MODIS.

Para área 2 verificou-se rejeição da hipótese nos meses de setembro, novembro e dezembro, conforme tabela abaixo.

Tabela 16: Teste t-Student unilateral aplicado nas áreas 1 e 2 para PPL

<b>Teste t-Student Unilateral</b>				
	PPL			
	Área 1 (AR)		Área 2 (LT)	
Mês	Rejeita H0	Não rejeita H0	Rejeita H0	Não rejeita H0
Julho	X			X
Agosto	X			X
Setembro		X	X	
Outubro	X			X
Novembro	X		X	
Dezembro	X		X	

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi proposta a realização de uma pesquisa comparativa da produtividade primária líquida de áreas de pastagens, medida em campo a partir de técnicas de espectrorradiometria com aquela obtida com dados do sensor MODIS.

A motivação para ele surgiu a partir de uma pesquisa onde os valores encontrados para PPL, utilizando-se dados do sensor MODIS, foram considerados superestimados para o período seco, provavelmente justificado por sua moderada resolução e saturação do NDVI.

Como parte do experimento, foram realizadas coletas de biomassa aérea nas duas áreas experimentais selecionadas, com solos do tipo arenoso e latossolo. Verificou-se que a área de solo arenoso apresentou valores maiores de biomassa seca. Existe um consenso na literatura a respeito da forte correlação existente entre NDVI e EVI com a biomassa. No entanto, poucos trabalhos que utilizam estes índices de vegetação realizam um teste que demonstre essa relação. Os dados de biomassa, EVI e NDVI foram cruzados no software SPSS 22, em versão gratuita, e foi possível estabelecer e visualizar graficamente a correlação existente entre essas variáveis.

As leituras de reflectância obtidas com o espectrorradiômetro apresentaram valores próximos aos descritos na literatura. Valores mais apurados seriam obtidos se as leituras fossem realizadas em laboratório. No entanto, o objetivo proposto desta pesquisa era o levantamento em campo, a fim de estabelecer uma comparação com dados do sensor MODIS.

Também foi estimado o valor de eficiência fotossintética para as áreas de pastagens cultivadas mediante o uso da radiação fotossinteticamente ativa absorvida e a matéria seca coletada. Foram estabelecidos valores de 0,50 g/MJ para área 1 e 0,36 g/MJ para área 2. Estes valores foram considerados satisfatórios e estão dentro de um intervalo descrito na literatura. Embora não haja no Brasil um consenso a respeito da eficiência fotossintética para diferentes culturas agrícolas, este seria um tema para novas pesquisas.

Por fim, calculou-se a Produtividade Primária Líquida das pastagens estudadas. Em valores absolutos, a PPL do MODIS na área 1 foi maior do que a PPL de radiometria apenas no mês de setembro. Na área 2, isso ocorreu nos meses de julho, agosto, setembro e outubro.

Para comparação das médias foi aplicado o teste t-Student bilateral e unilateral a fim de se conhecer a dispersão das mesmas. Foram propostas duas hipóteses de nulidade na primeira aplicação do teste (bilateral), onde se concluiu que os valores das médias são considerados diferentes para estes meses para área 1. Em contrapartida, os valores assumidos indicam que

não há diferença significativa para os demais meses. Para área 2 houve rejeição da hipótese nos meses de setembro, novembro e dezembro.

Como um dos questionamentos desta pesquisa diz respeito à possibilidade de que os dados do sensor MODIS sejam superestimados para o período da seca, foi aplicado um teste unilateral para as amostras de forma que houvesse melhor compreensão sobre o assunto. Neste caso a hipótese proposta foi a de que as médias de radiometria eram menores do que as do MODIS. Os resultados apontaram para rejeição da hipótese em todos os meses analisados na área 1, exceto para o mês de setembro. Na área 2, a hipótese foi rejeitada nos meses de setembro, novembro e dezembro, o que significa que nestes meses os dados do MODIS podem ter sido superestimados. No entanto, em virtude dos problemas enfrentados no início das coletas de campo e do curto prazo para realização da pesquisa, as leituras de radiometria tiveram de ser reduzidas, o que inviabilizou uma amostragem mais ampla que contemplasse o ciclo fenológico completo da planta, bem como em toda a estação chuvosa e período seco.

A metodologia utilizada apresentou resultados satisfatórios e responderam aos questionamentos iniciais desta pesquisa, sugere-se um aprofundamento deste estudo em uma pesquisa mais ampla que compreenda os aspectos citados acima e que não puderam ser contemplados neste momento. Um estudo semelhante pode ser realizado em uma área mais abrangente, com maior número de amostras e durante, no mínimo, um ano. É importante que a metodologia na leitura da espectrorradiometria seja observada atentamente e também a realização de maior quantidade de leituras para estabelecimento das médias.

A pesquisa se mostrou operacional e possível de ser aplicada, embora seja necessário o emprego de considerável número de pessoas envolvidas. Uma das vantagens deste tipo de estudo é o conhecimento acerca da eficiência de utilização da radiação pela planta e, conseqüentemente, sua conversão em matéria disponível à engorda do gado. Outro aspecto relevante em estudos dessa natureza é a possibilidade, mediante uma análise empírica, de estabelecer alguns critérios na estimativa de produtividade primária líquida em áreas de pastagens quando são utilizados dados de sensor orbital, como é o caso do MODIS. É importante levar em consideração que dados deste sensor, embora sejam considerados confiáveis, são passíveis de erros neste tipo de aplicação, por este motivo não devem ser usados indiscriminadamente, visto que os resultados encontrados apontam para uma superestimação dos valores em alguns meses analisados.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. G; BATISTELLA, M; BARBOSA, R.A; SEDIYAMA, G. C; DELGADO, R. C; LIMA, E. P. Aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto na estimativa da biomassa vegetal de pastagens no Mato Grosso do Sul. In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2009, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: SBA, 2009.

BASTIANNSEEN, W. G. M., ALI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. *Agriculture Ecosystems & Environment*, v. 94, p. 321-340, 2003.

BRANDÃO, Z.N.; BEZERRA, M.V.C.; SILVA, B.B. Uso do NDVI para determinação da biomassa na Chapada do Araripe. In: *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2007. p. 75-81.

CENSO AGROPECUÁRIO. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

CRESPO, A. A. Estatística fácil. São Paulo: Saraiva. 1999.

DAUGHTRY, C. S. T., GOWARD, K. P., PRINCE, S. D., KUSTAS, W. P. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. *Remote Sensing of Environment*, v. 39, p. 141-152, 1992.

DE CARLI, V. *Estruturação de um modelo para simulação do efeito do nitrogênio, intensidade e frequência de remoção de pastagem de Tifton 85*. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, UNIJUI. 2009.

EMBRAPA. *Comunicado Técnico 113*. Taxas e Métodos de Semeadura para Brachiaria brizantha cv. BRS Piatã em Safrinha. Campo Grande, MS, 2009.

EUCLIDES, V. P. B; MACEDO, M. C. M; VALLE, C. B do; BARBOSA, R. A. GONÇALVES, W. V. Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de Brachiaria brizantha sob pastejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.43, n.12, p.1805-1812, dez. 2008.

FARIA, E.F.S. *Formação e manejo de pastagens (plantas forrageiras)*. Universidade Federal da Bahia, Departamento de Produção Animal – Especialização em Produção de Bovinos, 2007.

FERREIRA, L.G; SANO, E.; FERNANDEZ, L.; ARAÚJO, F. Biophysical characteristics and fire occurrence of Cultivated pastures in the Brazilian savanna observed by moderate resolution satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 34 (1), 154-167. 2012.

FONSECA, E. L.; SILVEIRA, V. C. P; SALOMONI, E.. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa incidente em biomassa aérea da vegetação campestre natural no bioma Campos Sulinos do Brasil. *Ciência Rural*, v.36, p.656-659, 2006.

FRANCO, J.B.S; ROSA, R. Metodologia de coleta de dados radiométricos em pastagens do gênero “Brachiaria” com diferentes estágios de degradação. In: *XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2003, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2483 – 2491.

GALVANI, E. Avaliação da radiação solar fotossinteticamente ativa (PAR) em São Paulo, SP. *GEOUSP - Espaço e tempo*, São Paulo, nº 25, pp. 155-164, 2009.

HUETE, A.R. et al. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. *Geophys. Res. Lett.*, Washington, D.C., v. 33, n. L06405, p. 1-4, 2006.

JENSEN, J.R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. Tradução, prefácio e notas: EPIPHANIO, J.C,N (coordenador) et al. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 672p.

JUSTICE, C.O. et al. An overview of MODIS Land data processing and product status. *Remote Sensing of Environment*, 83, 3-15. 2002.

KUMAR, M., MONTEITH, J.L., Remote Sensing of Plant Growth. In: *Plants and Daylight Spectrum*. Edited by H. Smith, Academic Press, London, UK, 1982, p.133-144.

MATTEW, C. R.J.; WINSLOW STEVEN, C.; RUNNING, W. *Mapeando a produtividade semanal da vegetação de pastagens usando dados MODIS*. Conferência Virtual Global sobre Produção Orgânica de Bovinos de Corte. 2002.

LORENZZETTI, J. A. Princípios Físicos de Sensoriamento Remoto: notas de aula dadas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1º trimestre de 2002.

MENEZES, P.R.; NETO, J.S.M (orgs). *Sensoriamento Remoto: reflectância dos alvos naturais*. Editora Universidade de Brasília. Brasília, DF, 2001. 262p.

MONTEITH, J.L. Climate and efficiency of crop production in Britain. *Philosophical Transaction of the Royal Society*, London, v.281, p.277-94, 1977.

MONTEITH, J. L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *The Journal of Applied Ecology*, v.9, n.3, p.747-766, 1972.

NASCIMENTO JUNIOR, D. do; ADESE, B. Acúmulo de biomassa na pastagem. In: PEREIRA, O. G.; OBEID, J. A.; FONSECA, D. M.; NASCIMENTO JUNIOR, D. (Org.). In: *SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DA PASTAGEM*, 2004, Viçosa, MG. Anais... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2004. v. 1, p. 289-346.

NEVES, C. M. N. das; SILVA, L. N.; CURTI, N.; MACEDO, R. L. G.; TOKURA, A. M. Estoque de carbono em sistemas agrossilvopastoril, pastagem e eucalipto sob cultivo convencional na região noroeste do estado de Minas Gerais. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 14, 2002, Cuiabá-MT. *XIV Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 2002*.

NOVO, E. M. L.M. *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Blucher, 4 ed. 2010.

OTT, R. L.; LONGNECKER, M. *An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis*. 6 ed. Ed. Duxbury Press. 1297p.

PAZ, C.R.; SAQUET, D.B.; FERRAZ, R.C.; GIROTTO, J.; PEREIRA, R.S.; COSTA, V.P. Discriminação de diferentes espécies de pastagens com uso da espectrorradiometria. In: *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2009, Natal. *Anais...* Natal: INPE, 2009.p.1175-1181.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*. 1. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2007. v. 1, 127 p.

PRINCE, S.D.; GOWARD, S.T. Global primary production: a remote sensing approach. *Biogeography*, v.22, p.815-835, 1995.

RODRIGUES, C. A. G.; GREGO, C. R.; GIMENES, F. M. A.; ALMEIDA, C. G. F. de; OLIVEIRA, A. Taxa de acúmulo de matéria seca e biomassa aérea de uma pastagem de capim braquiária. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2011.

ROSA, R.; SANO, E. E. Determinação da produtividade primária líquida (NPP) de pastagens na bacia do rio Paranaíba, usando imagens MODIS. *GeoFocus*, nº13-1 , p. 367-395. ISSN: 1578-5157. 2013.

Rouse, J.W.Jr., Haas, R.H., Deering, D.W., Schell, J.A., Harlan, J.C. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *ERTS Symposium*, NASA SP-351 I, pp. 309-317.

SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. *Mapeamento do uso do solo e cobertura vegetal – Bioma Cerrado: ano base 2002*. Brasília: MMA/ SBF, 2010. 96 p.

SANO, E.E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. 2009. Land covermapping of the tropical savanna region in Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* (doi: 10.1007/s10661-009-0988-4).

SILVA, M. K. A. *Cobertura Vegetal Natural e Uso Antrópico do Bioma Cerrado no Estado de Minas Gerais*. 2006. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

SOUZA, F.H.B. As sementes de espécies forrageiras do gênero *Brachiaria* no Brasil Central, 1991. In: *II Encontro Para Discussão Sobre Capins Do Gênero Brachiaria*. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia. p.137-185.

VERMOTE, E.F.; EL SALEOUS, N. Z.; JUSTICE, C.O. Atmospheric correction of MODIS data in the visible to middle infrared: first results. *Remote Sensing of Environment*, 83, 97-111. 2002.

VIEIRA, C. A. O; LIU, W. T. H; GLERIANI, J. M; ETIENNE, A. M; RAMOS, R. S; TEIXEIRA, A. B. Monitoramento da produção e geração do mapa de poder de captura de CO<sub>2</sub> da pastagem da bacia do Rio Turvo Sujo no Estado de Minas Gerais através de produtos do sensoriamento remoto. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. *Anais...* Curitiba:INPE, 2011. p.5646.

WYLIE, B.K.; DENDRA, I.; PIPER, R.D.; HARRINGTON, J.A.; REED, B.C.; SOUTHWARD, G.M. Satellite-Based herbaceous biomass estimates in the pastoral zone of Niger. *Journal of Range Management*. v.48, p.159-164, 1995

## **APÊNCIDE A – GRÁFICOS E TABELAS DE BIOMASSA**

Tabela 17: Biomassa – Julho (AR)

PARCELA	BIOMASSA - JULHO - Área 1 (AR)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	275,71	251,40	24,31	0,09	61,75	53,85	7,90	0,13
2	138,14	117,28	20,86	0,15	37,47	33,13	4,34	0,12
3	193,02	173,83	19,19	0,10	58,99	54,80	4,19	0,07
4	183,34	163,32	20,02	0,11	43,60	39,55	4,05	0,09
5	170,21	148,05	22,16	0,13	52,60	45,48	7,12	0,14
6	148,51	124,88	23,63	0,16	47,50	41,12	6,38	0,13
7	104,29	86,54	17,75	0,17	50,13	46,67	3,46	0,07
8	146,54	124,30	22,24	0,15	48,39	43,80	4,59	0,09
9	330,51	312,34	18,17	0,05	56,40	52,08	4,32	0,08
10	204,69	185,68	19,01	0,09	68,19	62,62	5,57	0,08
11	228,03	207,70	20,33	0,09	67,54	58,03	9,51	0,14
12	207,67	187,33	20,34	0,10	67,21	60,68	6,53	0,10
13	160,90	142,76	18,14	0,11	49,57	44,46	5,11	0,10
14	173,74	153,76	19,98	0,11	58,63	53,45	5,18	0,09
15	133,99	112,57	21,42	0,16	60,31	50,60	9,71	0,16
16	164,60	142,82	21,78	0,13	86,35	75,23	11,12	0,13
17	143,27	122,32	20,95	0,15	49,39	44,62	4,77	0,10
18	198,85	176,63	22,22	0,11	54,18	45,07	9,11	0,17
19	149,19	130,68	18,51	0,12	37,65	32,89	4,76	0,13
20	212,74	193,85	18,89	0,09	55,46	50,53	4,93	0,09
<b>Total</b>	<b>3.667,90</b>	<b>3.258,04</b>	<b>409,86</b>		<b>1.111,27</b>	<b>988,66</b>	<b>122,61</b>	

Tabela18: Biomassa – Agosto (AR)

PARCELA	BIOMASSA - AGOSTO - Área 1 (AR)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	239,57	209,92	29,65	0,12	67,52	53,43	14,09	0,21
2	145,12	128,48	16,64	0,11	31,20	25,47	5,73	0,18
3	142,34	125,30	17,04	0,12	36,43	31,17	5,26	0,14
4	92,25	79,19	13,06	0,14	36,13	31,29	4,84	0,13
5	162,61	143,40	19,21	0,12	49,79	41,23	8,56	0,17
6	185,97	162,64	23,33	0,13	43,90	35,72	8,18	0,19
7	88,17	75,99	12,18	0,14	25,74	22,64	3,10	0,12
8	104,46	91,03	13,43	0,13	30,89	26,40	4,49	0,15
9	117,87	102,38	15,49	0,13	28,91	24,63	4,28	0,15
10	81,90	70,07	11,83	0,14	37,12	31,12	6,00	0,16
11	141,90	124,14	17,76	0,13	56,14	42,88	13,26	0,24
12	154,61	135,13	19,48	0,13	49,75	38,41	11,34	0,23
13	125,05	108,87	16,18	0,13	34,40	28,83	5,57	0,16
14	142,08	124,66	17,42	0,12	37,51	31,08	6,43	0,17
15	155,38	136,03	19,35	0,12	65,96	51,98	13,98	0,21
16	192,05	169,75	22,30	0,12	71,88	54,40	17,48	0,24
17	142,06	124,14	17,92	0,13	38,11	31,72	6,39	0,17
18	169,17	149,75	19,42	0,11	54,60	41,25	13,35	0,24
19	127,22	110,25	16,97	0,13	37,87	31,33	6,54	0,17
20	140,56	122,94	17,62	0,13	41,09	34,18	6,91	0,17
<b>Total</b>	<b>2.850,34</b>	<b>2.494,06</b>	<b>356,28</b>		<b>874,94</b>	<b>709,16</b>	<b>165,78</b>	

Tabela 19: Biomassa – Setembro (AR)

PARCELA	BIOMASSA - SETEMBRO - Área 1 (AR)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	100,68	81,71	18,97	0,19	21,21	19,50	1,71	0,08
2	177,07	152,00	25,07	0,14	28,43	25,48	2,95	0,10
3	137,86	116,52	21,34	0,15	23,40	20,29	3,11	0,13
4	208,18	181,20	26,98	0,13	25,97	22,71	3,26	0,13
5	177,26	152,16	25,10	0,14	38,03	32,35	5,68	0,15
6	167,70	143,77	23,93	0,14	37,24	32,67	4,57	0,12
7	166,61	143,30	23,31	0,14	33,28	29,46	3,82	0,11
8	251,11	220,06	31,05	0,12	36,56	31,88	4,68	0,13
9	134,27	113,43	20,84	0,16	37,78	33,43	4,35	0,12
10	209,17	182,99	26,18	0,13	44,75	39,61	5,14	0,11
11	147,00	124,11	22,89	0,16	42,78	37,03	5,75	0,13
12	150,28	129,08	21,20	0,14	19,62	17,91	1,71	0,09
13	120,83	100,73	20,10	0,17	36,41	31,77	4,64	0,13
14	138,19	115,65	22,54	0,16	35,21	31,29	3,92	0,11
15	154,91	131,42	23,49	0,15	40,00	34,56	5,44	0,14
16	131,64	110,39	21,25	0,16	40,72	35,96	4,76	0,12
17	161,76	137,78	23,98	0,15	26,91	23,76	3,15	0,12
18	165,48	140,47	25,01	0,15	39,28	34,42	4,86	0,12
19	113,56	93,51	20,05	0,18	28,31	25,33	2,98	0,11
20	121,64	101,49	20,15	0,17	30,02	27,06	2,96	0,10
<b>Total</b>	<b>3.135,20</b>	<b>2.671,77</b>	<b>463,43</b>		<b>665,91</b>	<b>586,47</b>	<b>79,44</b>	

Tabela 20: Biomassa – Outubro (AR)

PARCELA	BIOMASSA - OUTUBRO - Área 1 (AR)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	192,08	141,63	50,45	0,26	108,19	42,61	65,58	0,61
2	172,24	126,98	45,26	0,26	99,20	41,17	58,03	0,58
3	195,91	145,06	50,85	0,26	108,51	46,21	62,30	0,57
4	142,85	107,11	35,74	0,25	63,60	30,29	33,31	0,52
5	197,72	151,79	45,93	0,23	116,65	45,87	70,78	0,61
6	125,67	92,56	33,11	0,26	55,17	27,56	27,61	0,50
7	193,79	150,46	43,33	0,22	74,05	37,88	36,17	0,49
8	161,56	119,13	42,43	0,26	153,28	63,20	90,08	0,59
9	174,40	136,19	38,21	0,22	93,90	38,48	55,42	0,59
10	155,17	113,62	41,55	0,27	79,62	35,59	44,03	0,55
11	230,50	182,72	47,78	0,21	73,79	35,94	37,85	0,51
12	122,07	86,65	35,42	0,29	69,29	30,76	38,53	0,56
13	167,52	125,89	41,63	0,25	108,31	38,85	69,46	0,64
14	118,38	84,43	33,95	0,29	84,87	36,81	48,06	0,57
15	75,30	48,88	26,42	0,35	70,34	27,37	42,97	0,61
16	156,94	114,34	42,60	0,27	122,40	49,27	73,13	0,60
17	231,46	178,02	53,44	0,23	144,30	54,71	89,59	0,62
18	186,36	146,31	40,05	0,21	86,06	36,03	50,03	0,58
19	273,64	208,48	65,16	0,24	147,65	66,02	81,63	0,55
20	146,01	108,51	37,50	0,26	70,05	33,38	36,67	0,52
<b>Total</b>	<b>3.419,57</b>	<b>2.568,76</b>	<b>850,81</b>		<b>1.929,23</b>	<b>818,00</b>	<b>1.111,23</b>	

Tabela 21: Biomassa – Novembro (AR)

PARCELA	BIOMASSA - NOVEMBRO - Área 1 (AR)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	217,41	168,64	48,77	0,22	108,25	50,00	58,25	0,54
2	161,22	116,69	44,53	0,28	156,25	67,30	88,95	0,57
3	265,97	186,07	79,90	0,30	261,91	104,95	156,96	0,60
4	98,73	68,48	30,25	0,31	88,89	38,36	50,53	0,57
5	200,13	149,84	50,29	0,25	83,00	40,48	42,52	0,51
6	178,58	131,14	47,44	0,27	168,84	66,83	102,01	0,60
7	224,42	165,87	58,55	0,26	114,65	53,15	61,50	0,54
8	128,12	89,97	38,15	0,30	97,48	43,26	54,22	0,56
9	112,81	72,76	40,05	0,36	223,13	73,89	149,24	0,67
10	138,15	89,27	48,88	0,35	198,32	71,77	126,55	0,64
11	178,01	126,87	51,14	0,29	127,66	52,76	74,90	0,59
12	150,30	104,93	45,37	0,30	116,62	47,62	69,00	0,59
13	123,56	88,94	34,62	0,28	114,88	50,84	64,04	0,56
14	116,65	79,53	37,12	0,32	127,11	51,98	75,13	0,59
15	101,77	67,29	34,48	0,34	81,15	35,86	45,29	0,56
16	170,03	119,78	50,25	0,30	135,99	60,48	75,51	0,56
17	129,28	91,07	38,21	0,30	72,50	33,49	39,01	0,54
18	125,18	87,62	37,56	0,30	112,22	46,90	65,32	0,58
19	195,01	139,75	55,26	0,28	136,77	55,61	81,16	0,59
20	177,28	133,13	44,15	0,25	154,21	65,34	88,87	0,58
<b>Total</b>	<b>3.192,61</b>	<b>2.277,64</b>	<b>914,97</b>		<b>2.679,83</b>	<b>1.110,87</b>	<b>1.568,96</b>	

Tabela 22: Biomassa – Dezembro (AR)

PARCELA	BIOMASSA - DEZEMBRO - Área 1 (AR)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	279,55	181,80	97,75	0,35	233,20	78,20	155,00	0,66
2	299,62	226,34	73,28	0,24	192,29	72,82	119,47	0,62
3	157,15	99,85	57,30	0,36	158,25	56,77	101,48	0,64
4	311,19	222,34	88,85	0,29	219,75	84,66	135,09	0,61
5	363,40	258,45	104,95	0,29	279,60	98,73	180,87	0,65
6	196,24	146,22	50,02	0,25	170,34	65,46	104,88	0,62
7	207,85	137,95	69,90	0,34	127,21	50,60	76,61	0,60
8	189,29	128,79	60,50	0,32	223,44	80,56	142,88	0,64
9	307,44	189,73	117,71	0,38	257,28	87,31	169,97	0,66
10	216,47	154,52	61,95	0,29	211,95	78,42	133,53	0,63
11	255,98	148,96	107,02	0,42	240,60	83,51	157,09	0,65
12	198,22	117,35	80,87	0,41	240,91	84,52	156,39	0,65
13	261,54	164,36	97,18	0,37	165,76	61,77	103,99	0,63
14	292,55	188,40	104,15	0,36	261,99	91,72	170,27	0,65
15	161,15	110,04	51,11	0,32	194,24	68,96	125,28	0,64
16	139,63	90,33	49,30	0,35	184,87	65,17	119,70	0,65
17	128,84	95,91	32,93	0,26	162,22	62,22	100,00	0,62
18	238,93	169,51	69,42	0,29	294,49	99,14	195,35	0,66
19	328,47	192,32	136,15	0,41	256,32	84,89	171,43	0,67
20	167,55	109,87	57,68	0,34	171,49	57,71	113,78	0,66
<b>Total</b>	<b>4.701,06</b>	<b>3.133,04</b>	<b>1.568,02</b>		<b>4.246,20</b>	<b>1.513,14</b>	<b>2.733,06</b>	

Gráfico 12 – Biomassa seca total mensal - AR

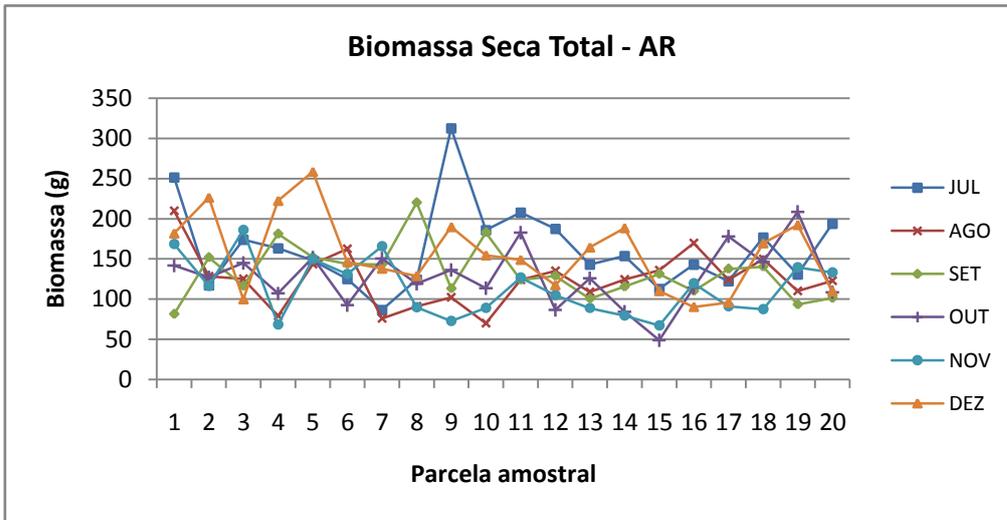


Gráfico 13 – Biomassa verde total mensal - AR

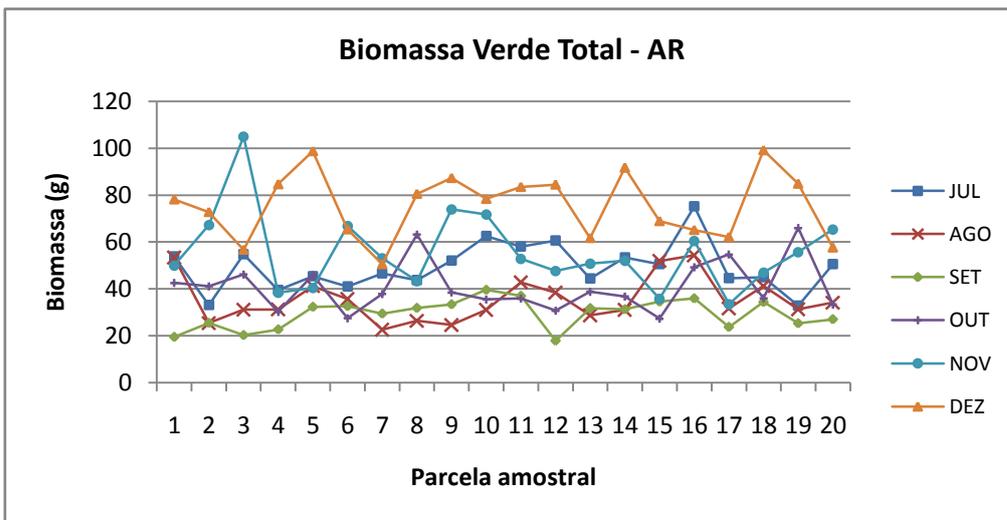


Tabela 23: Biomassa – Julho (LT)

PARCELA	BIOMASSA - JULHO - Área 2 (LT)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	246,56	236,61	9,95	0,04	47,34	41,82	5,52	0,12
2	107,12	94,48	12,64	0,12	41,00	37,10	3,90	0,10
3	147,29	139,93	7,36	0,05	56,92	54,97	1,95	0,03
4	133,77	122,78	10,99	0,08	51,20	49,16	2,04	0,04
5	123,78	115,46	8,32	0,07	74,57	72,50	2,07	0,03
6	128,57	118,40	10,17	0,08	54,19	52,32	1,87	0,03
7	186,32	179,42	6,90	0,04	42,75	37,51	5,24	0,12
8	143,17	133,02	10,15	0,07	57,71	53,05	4,66	0,08
9	175,16	160,54	14,62	0,08	60,03	55,56	4,47	0,07
10	122,82	113,76	9,06	0,07	37,54	36,13	1,41	0,04
11	94,73	84,83	9,90	0,10	28,15	27,18	0,97	0,03
12	133,11	120,25	12,86	0,10	44,95	37,98	6,97	0,15
13	183,09	173,99	9,10	0,05	107,57	105,94	1,63	0,02
14	200,96	188,20	12,76	0,06	71,67	68,25	3,42	0,05
15	152,40	140,59	11,81	0,08	57,03	54,87	2,16	0,04
16	174,33	165,41	8,92	0,05	41,42	38,71	2,71	0,07
17	223,98	214,33	9,65	0,04	95,10	91,28	3,82	0,04
18	214,35	204,61	9,74	0,05	73,16	69,99	3,17	0,04
19	152,71	143,80	8,90	0,06	56,86	54,81	2,05	0,04
20	119,48	109,81	9,67	0,08	44,30	41,60	2,70	0,06
<b>Total</b>	<b>3.163,64</b>	<b>2.960,22</b>	<b>203,42</b>		<b>1.143,43</b>	<b>1.080,73</b>	<b>62,70</b>	

Tabela24: Biomassa – Agosto (LT)

PARCELA	BIOMASSA - AGOSTO - Área 2 (LT)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	109,58	99,45	10,13	0,09	45,85	36,81	9,04	0,20
2	166,40	151,85	14,55	0,09	38,16	32,44	5,72	0,15
3	103,55	95,91	7,64	0,07	30,34	27,28	3,06	0,10
4	173,32	158,85	14,47	0,08	31,55	28,62	2,93	0,09
5	116,22	107,12	9,10	0,08	32,81	29,98	2,83	0,09
6	149,88	137,47	12,41	0,08	25,60	23,10	2,50	0,10
7	116,62	107,64	8,98	0,08	32,48	23,19	9,29	0,29
8	99,67	91,66	8,01	0,08	28,38	21,57	6,81	0,24
9	177,87	160,17	17,70	0,10	39,07	31,59	7,48	0,19
10	130,34	119,14	11,20	0,09	26,28	24,33	1,95	0,07
11	98,11	89,76	8,35	0,09	21,32	21,15	0,17	0,01
12	173,40	158,10	15,30	0,09	47,41	36,86	10,55	0,22
13	105,77	97,59	8,18	0,08	23,94	22,10	1,84	0,08
14	163,45	150,28	13,17	0,08	30,81	27,16	3,65	0,12
15	156,77	141,02	15,75	0,10	31,63	28,45	3,18	0,10
16	104,25	96,89	7,36	0,07	15,40	11,29	4,11	0,27
17	134,63	123,56	11,07	0,08	36,62	30,38	6,24	0,17
18	158,87	146,57	12,30	0,08	40,93	35,80	5,13	0,13
19	103,80	95,38	8,42	0,08	28,00	25,65	2,35	0,08
20	144,10	133,20	10,90	0,08	29,85	26,66	3,19	0,11
<b>Total</b>	<b>2.686,60</b>	<b>2.461,61</b>	<b>224,99</b>		<b>636,43</b>	<b>544,41</b>	<b>92,02</b>	

Tabela 25: Biomassa – Setembro (LT)

PARCELA	BIOMASSA - SETEMBRO - Área 2 (LT)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	133,49	123,73	9,76	0,07	21,42	19,42	2,00	0,09
2	155,21	144,48	10,73	0,07	20,08	18,01	2,07	0,10
3	105,47	98,40	7,07	0,07	10,07	9,23	0,84	0,08
4	102,90	95,40	7,50	0,07	13,10	11,95	1,15	0,09
5	95,13	87,60	7,53	0,08	17,62	16,31	1,31	0,07
6	114,12	106,20	7,92	0,07	12,66	11,43	1,23	0,10
7	75,35	70,54	4,81	0,06	14,30	13,11	1,19	0,08
8	169,29	157,01	12,28	0,07	25,94	23,43	2,51	0,10
9	141,24	129,70	11,54	0,08	19,47	18,02	1,45	0,07
10	96,12	89,20	6,92	0,07	13,16	12,29	0,87	0,07
11	188,91	177,46	11,45	0,06	21,73	19,96	1,77	0,08
12	141,79	131,37	10,42	0,07	34,97	31,59	3,38	0,10
13	126,65	116,64	10,01	0,08	18,83	17,41	1,42	0,08
14	173,91	161,56	12,35	0,07	31,60	28,42	3,18	0,10
15	119,02	111,16	7,86	0,07	12,36	11,22	1,14	0,09
16	132,09	121,61	10,48	0,08	14,17	12,86	1,31	0,09
17	117,32	109,09	8,23	0,07	15,66	14,27	1,39	0,09
18	107,11	99,94	7,17	0,07	16,16	14,95	1,21	0,07
19	131,79	122,40	9,39	0,07	18,45	16,70	1,75	0,09
20	120,06	111,63	8,43	0,07	21,41	19,20	2,21	0,10
<b>Total</b>	<b>2.546,97</b>	<b>2.365,12</b>	<b>181,85</b>		<b>373,16</b>	<b>339,78</b>	<b>33,38</b>	

Tabela26: Biomassa – Outubro (LT)

PARCELA	BIOMASSA - OUTUBRO - Área 2 (LT)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	112,27	94,99	17,28	0,15	27,84	15,51	12,33	0,44
2	147,13	124,28	22,85	0,16	52,81	27,06	25,75	0,49
3	131,10	107,61	23,49	0,18	48,32	21,48	26,84	0,56
4	147,04	122,92	24,12	0,16	62,90	29,89	33,01	0,52
5	133,27	110,41	22,86	0,17	39,92	19,54	20,38	0,51
6	124,38	101,24	23,14	0,19	43,76	21,88	21,88	0,50
7	184,78	152,13	32,65	0,18	82,87	36,65	46,22	0,56
8	162,63	139,27	23,36	0,14	48,29	26,09	22,20	0,46
9	134,74	115,63	19,11	0,14	43,52	26,05	17,47	0,40
10	142,87	118,92	23,95	0,17	46,04	25,12	20,92	0,45
11	146,74	120,29	26,45	0,18	61,60	27,21	34,39	0,56
12	100,37	84,05	16,32	0,16	23,95	12,48	11,47	0,48
13	103,90	83,95	19,95	0,19	51,06	22,98	28,08	0,55
14	150,69	129,00	21,69	0,14	56,41	25,09	31,32	0,56
15	114,35	94,04	20,31	0,18	32,47	17,19	15,28	0,47
16	234,06	184,99	49,07	0,21	61,51	30,35	31,16	0,51
17	102,80	83,98	18,82	0,18	44,65	19,75	24,90	0,56
18	179,26	151,47	27,79	0,16	59,59	25,28	34,31	0,58
19	177,23	145,80	31,43	0,18	63,44	26,27	37,17	0,59
20	216,04	177,44	38,60	0,18	66,96	33,97	32,99	0,49
<b>Total</b>	<b>2.945,65</b>	<b>2.442,41</b>	<b>503,24</b>		<b>1.017,91</b>	<b>489,84</b>	<b>528,07</b>	

Tabela 27: Biomassa – Novembro (LT)

PARCELA	BIOMASSA - NOVEMBRO - Área 2 (LT)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	135,12	106,04	29,08	0,22	81,10	34,52	46,58	0,57
2	164,63	131,59	33,04	0,20	92,52	40,40	52,12	0,56
3	189,44	150,09	39,35	0,21	133,16	48,82	84,34	0,63
4	107,66	83,58	24,08	0,22	69,73	28,72	41,01	0,59
5	165,58	126,07	39,51	0,24	81,37	32,66	48,71	0,60
6	156,28	121,02	35,26	0,23	103,96	40,93	63,03	0,61
7	137,49	109,12	28,37	0,21	75,97	32,21	43,76	0,58
8	117,52	92,07	25,45	0,22	99,77	40,05	59,72	0,60
9	265,16	207,20	57,96	0,22	121,61	51,69	69,92	0,57
10	191,88	146,02	45,86	0,24	136,56	52,39	84,17	0,62
11	106,17	80,20	25,97	0,24	69,49	31,58	37,91	0,55
12	153,17	122,25	30,92	0,20	98,48	41,48	57,00	0,58
13	130,88	101,53	29,35	0,22	69,07	30,07	39,00	0,56
14	156,84	121,30	35,54	0,23	103,39	41,19	62,20	0,60
15	110,95	85,38	25,57	0,23	71,64	31,42	40,22	0,56
16	122,42	97,55	24,87	0,20	85,96	37,88	48,08	0,56
17	130,64	99,43	31,21	0,24	92,51	35,87	56,64	0,61
18	233,42	175,50	57,92	0,25	141,07	54,94	86,13	0,61
19	260,31	184,31	76,00	0,29	176,29	62,71	113,58	0,64
20	179,59	133,21	46,38	0,26	136,83	50,97	85,86	0,63
<b>Total</b>	<b>3.215,15</b>	<b>2.473,46</b>	<b>741,69</b>		<b>2.040,48</b>	<b>820,50</b>	<b>1.219,98</b>	

Tabela 28: Biomassa – Dezembro (LT)

PARCELA	BIOMASSA - DEZEMBRO - Área 2 (LT)							
	SECA				VERDE			
	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água	ANTES	DEPOIS	DIFERENÇA	% de água
1	101,35	86,16	15,19	0,15	136,39	58,33	78,06	0,57
2	95,89	80,44	15,45	0,16	168,80	64,16	104,64	0,62
3	135,90	114,71	21,19	0,16	198,96	76,61	122,35	0,61
4	154,41	123,17	31,24	0,20	185,12	70,87	114,25	0,62
5	182,16	146,67	35,49	0,19	193,99	77,87	116,12	0,60
6	180,22	143,89	36,33	0,20	189,31	78,24	111,07	0,59
7	156,00	124,49	31,51	0,20	199,77	78,94	120,83	0,60
8	140,93	120,73	20,20	0,14	144,79	61,75	83,04	0,57
9	149,39	118,34	31,05	0,21	171,74	75,02	96,72	0,56
10	80,90	68,66	12,24	0,15	109,43	44,07	65,36	0,60
11	137,59	107,30	30,29	0,22	182,78	74,15	108,63	0,59
12	102,83	87,09	15,74	0,15	118,20	47,19	71,01	0,60
13	125,38	106,67	18,71	0,15	134,30	63,10	71,20	0,53
14	210,36	169,29	41,07	0,20	168,94	72,04	96,90	0,57
15	157,48	129,97	27,51	0,17	213,85	84,53	129,32	0,60
16	164,22	138,18	26,04	0,16	212,68	79,28	133,40	0,63
17	114,61	95,32	19,29	0,17	148,63	66,01	82,62	0,56
18	124,81	102,70	22,11	0,18	158,88	66,52	92,36	0,58
19	167,22	131,73	35,49	0,21	215,75	84,04	131,71	0,61
20	137,12	110,29	26,83	0,20	164,17	66,04	98,13	0,60
<b>Total</b>	<b>2.818,77</b>	<b>2.305,80</b>	<b>512,97</b>		<b>3.416,48</b>	<b>1.388,76</b>	<b>2.027,72</b>	

Gráfico 14 – Biomassa seca total mensal -LT

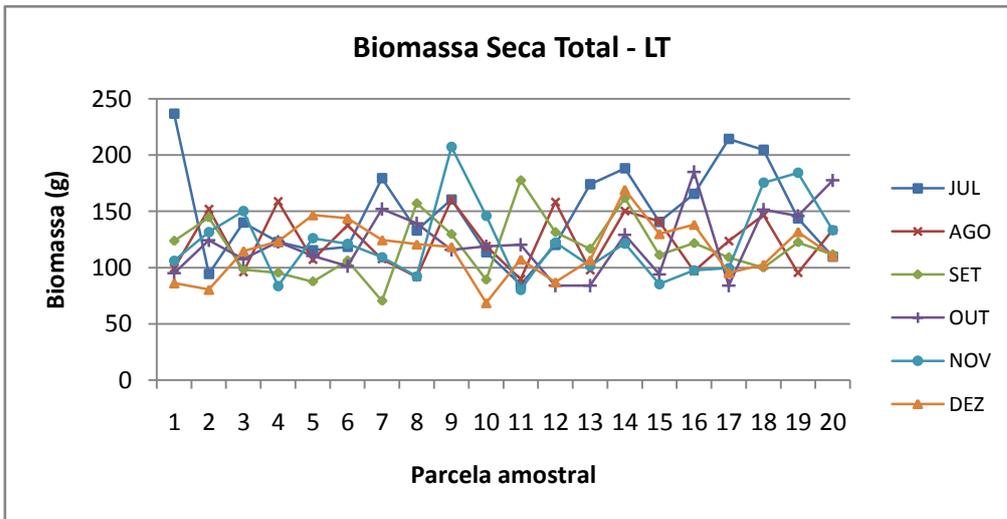


Gráfico 15 – Biomassa verde total mensal - LT

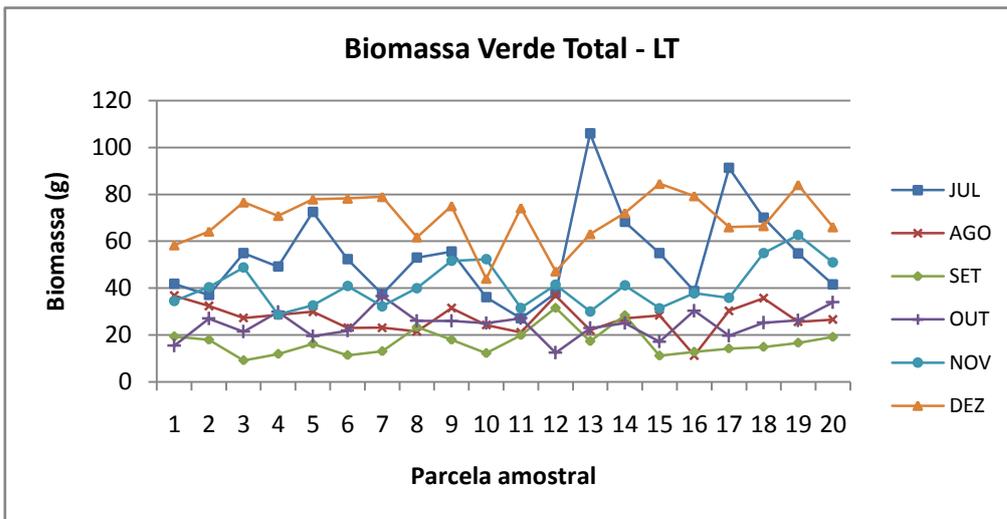


Gráfico 16 – Biomassa seca total AR e LT

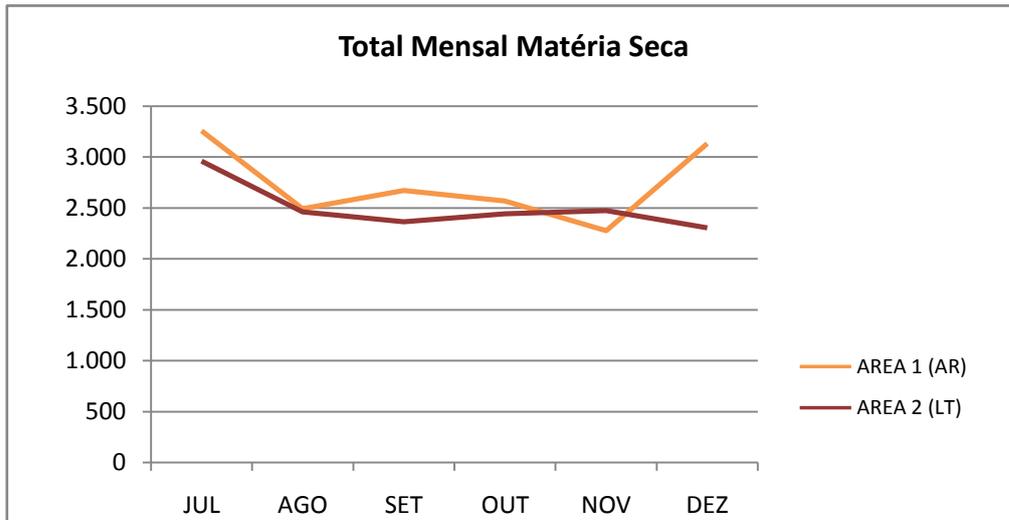


Gráfico 17 – Biomassa verde total AR e LT

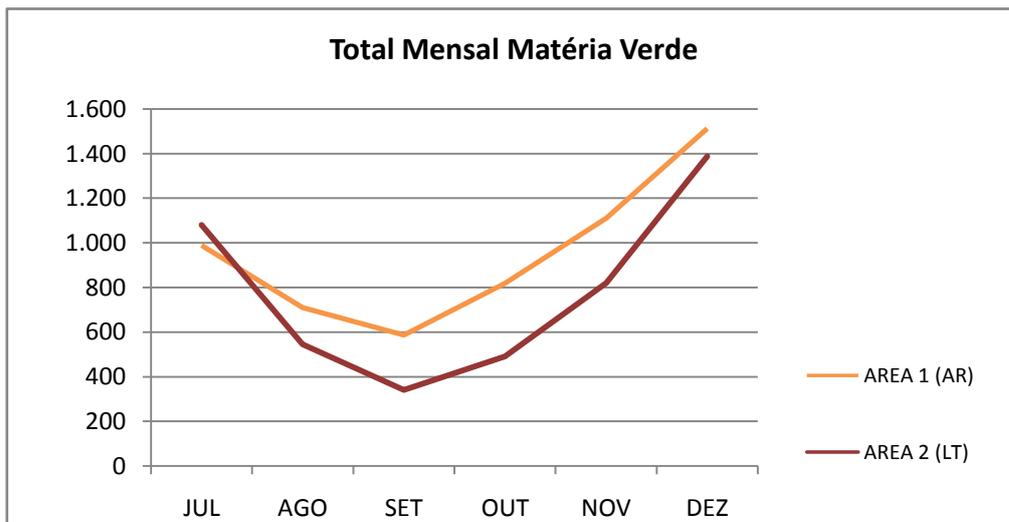


Gráfico 18 – Biomassa total AR e LT – por parcela amostral

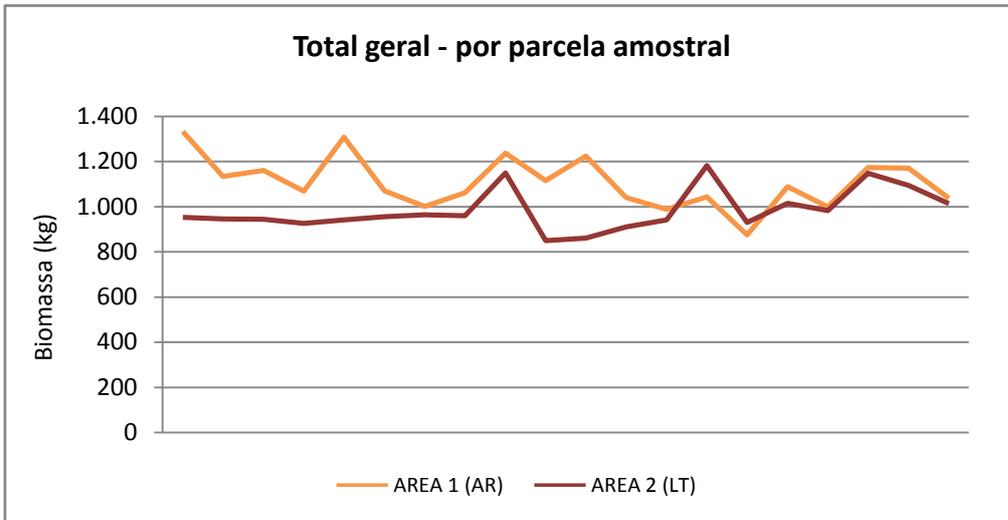


Gráfico 19 – Biomassa total AR e LT – mensal

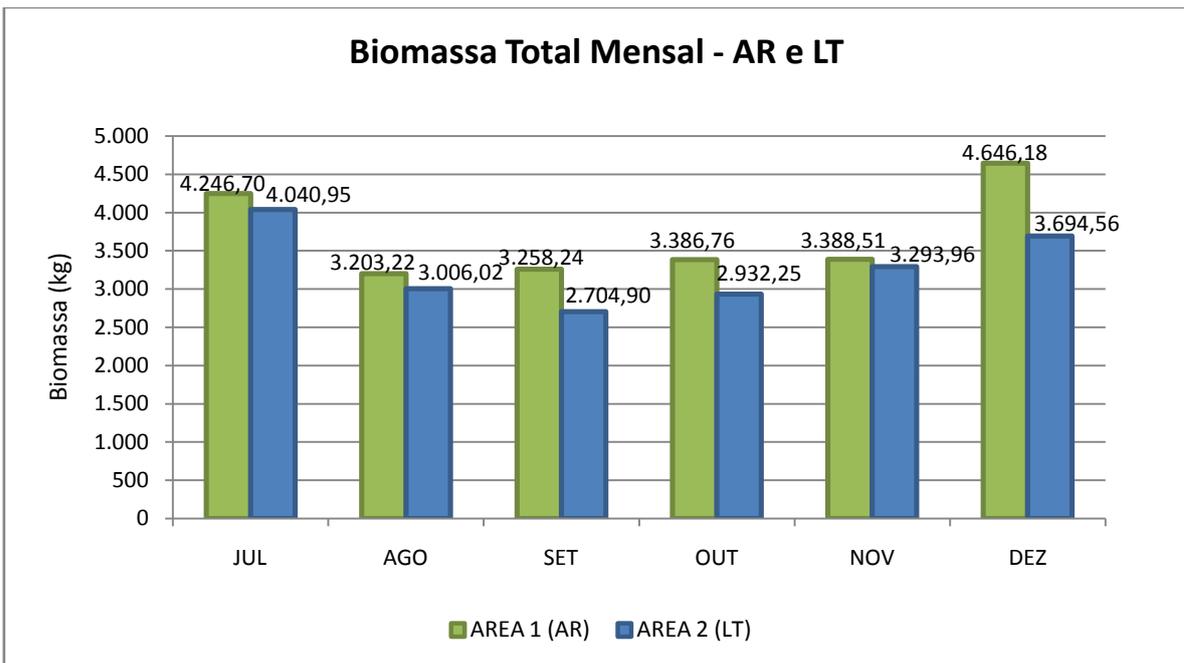


Tabela 29: Pontos percentuais da distribuição de t-Student

df	Right-Tail Probability (A)								
	.40	.25	.10	.05	.025	.01	.005	.001	.0005
1	.325	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.309	636.619
2	.289	.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3	.277	.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	.271	.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	.267	.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	.265	.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	.263	.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	.262	.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	.261	.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	.260	.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	.260	.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	.259	.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	.259	.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	.258	.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	.258	.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	.258	.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	.257	.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	.257	.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	.257	.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	.257	.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	.257	.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	.256	.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	.256	.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768
24	.256	.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	.256	.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	.256	.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	.256	.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	.256	.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	.256	.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	.256	.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
35	.255	.682	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.340	3.591
40	.255	.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
50	.255	.679	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.261	3.496
60	.254	.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.232	3.460
120	.254	.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.160	3.373
inf.	.253	.674	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.090	3.291