

MÁRIO CUPERTINO DA SILVA JÚNIOR

DETECÇÃO DO EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM
Brachiaria decumbens UTILIZANDO TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2006

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586d
2006

Silva Júnior, Mário Cupertino da, 1980-
Detecção do efeito da adubação nitrogenada em
Brachiaria decumbens utilizando técnicas de sensoriamento
remoto / Mário Cupertino da Silva Júnior. – Viçosa : UFV,
2006.

xii, 96f. : il. ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 64-69.

1. Agricultura de precisão. 2. Sensoriamento remoto.
3. Processamento de imagens - Técnicas digitais. 4. *Brachiaria
decumbens* - Adubos e fertilizantes. 5. Fertilizantes

nitrogenados.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

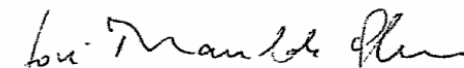
CDD 22.ed. 631.3

MÁRIO CUPERTINO DA SILVA JÚNIOR

DETECÇÃO DO EFEITO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA EM
Brachiaria decumbens UTILIZANDO TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 29 de setembro de 2006.


Prof. José Marinaldo Gleñani


Prof. Marcio Mota Ramos


Prof. Haroldo Carlos Fernandes


Prof. Dilermando Miranda da Fonseca
(Co-orientador)


Prof. Francisco de Assis de Carvalho Pinto
(Orientador)

Aos meus queridos pais Mário Cupertino, eternamente vivo em meu coração, e Maria Rozalina, pelo exemplo de vida, incentivo, amor e confiança,

À minha vó Paulina "In memoriam" pelo exemplo de fé, bondade, força e luta,

As minhas irmãs Mônica, Magna e Mirce e meus cunhados pela atenção, dedicação e carinho,

Aos meus sobrinhos Leandro, Letícia e Mariana pelo carinho,

Aos meus tios (as), primos (as), afilhada e toda a minha família, pelo carinho, incentivo e atenção,

À Selma pelo carinho, companherismo e amizade,

E aos meus grandes amigos pela amizade sincera e eterna

DEDICO

“Ando devagar porque já tive pressa
E levo esse sorriso porque já chorei demais
Hoje me sinto mais forte, mais feliz, quem sabe,
Eu só levo a certeza, de que muito pouco sei, ou nada sei
Conhecer as manhas e as manhãs,
O sabor das massas e das maçãs
É preciso amor prá poder pulsar
É preciso paz prá poder sorrir
É preciso chuva para florir
Penso que cumprir a vida seja simplesmente
Compreender a marcha e ir tocando em frente...
Todo mundo ama um dia, todo mundo chora
Um dia a gente chega e no outro vai embora
Cada um de nós compõe a sua própria história
E cada ser em si carrega o dom de ser capaz,
De ser feliz”
(Almir Sater e Renato Teixeira)

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que nos deu o dom da vida, nos preencheu com a liberdade, nos abençoou com a inteligência e nos deu força para lutarmos;

À Universidade Federal de Viçosa, através do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do curso;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos;

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento da presente pesquisa;

Ao Professor Francisco de Assis de Carvalho Pinto pela oportunidade do curso, orientação, amizade e incentivo;

Aos Professores Daniel Marçal de Queiroz, Dilermando Miranda da Fonseca, Ricardo Capúcio de Resende, Darly Geraldo de Sena Júnior pelas valiosas sugestões, colaborações e conselhos;

Aos professores Luciano Baião e Ricardo Capúcio pela motivação, dedicação e empenho para realização do trabalho;

Aos professores Haroldo Fernandes, Mauri Teixeira, Renato Ruas pelas contribuições e apoio no dia a dia no departamento e ao professor Nerílson pelo auxílio na parte estatística;

Aos amigos da área de mecanização agrícola Selma, Diogo, Gislaine, Murilo, José Marcelo, Élder, Bruno, Enrique, Fábio Santos, Douglas, Willian, Geice, Danilo, Kélisson, Leonardo, Sérgio, Gérson, Francelino, Fabiane, Andréia, Renato, Walter, Alisson, Wagner, Ronaldo, João Cléber, Paula, Adriano, pela amizade, convívio e grande auxílio na condução deste trabalho;

Aos amigos da república e a todos os amigos da UFV, PUC-MG e de Conselheiro Lafaiete, pela amizade e convívio durante esses anos.

Ao departamento de Zootecnia da UFV, em especial ao professor Dilermando pela concessão da área experimental e ao senhor Nicolau pelo auxílio na conduta do experimento;

Aos meus pais Mário Cupertino “*in memorian*” e Maria Rozalina pelo exemplo de amor, confiança, dedicação, incentivo, amizade e força;

Aos meus avós, em especial a vó Paulina “*in memorian*” pelo exemplo de vida, fé e bondade a ser seguido;

Às minhas irmãs, cunhados, sobrinhos pela atenção, carinho e incentivo;

Aos meus tios (as), primos (as), afilhada e toda minha família pela atenção, força, incentivo e carinho;

Aos membros da diretoria pela amizade sincera cultivada ao longo de muitos anos;

À Selma pelo carinho, amizade e companheirismo;

Aos professores e funcionários do DEA, pela amizade e convívio do dia a dia;

Aos professores e amigos do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da PUC-MG, em especial ao professor Pyramo, pela oportunidade de ingressar na carreira científica;

A Flutua Brasil Engenharia em Balões, em especial ao Fábio Jorge Lofti, pela atenção e pelo grande suporte na realização do experimento;

Sinceros agradecimentos a todos que colaboraram diretamente ou indiretamente para que este trabalho fosse realizado.

BIOGRAFIA

MÁRIO CUPERTINO DA SILVA JÚNIOR, filho de Mário Cupertino da Silva (*In Memoriam*) e Maria Rozalina Cupertino, nasceu em Conselheiro Lafaiete, MG, no dia 22 de dezembro de 1980.

Em Julho de 2004 concluiu o curso de Engenharia de Controle e Automação na Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais.

Em agosto de 2004 iniciou o curso de mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Mecanização Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa e submeteu-se à defesa de tese em setembro de 2006.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	5
2.1. Manejo e adubação de pastagens.....	5
2.2. O uso da adubação nitrogenada como alternativa	7
2.3. Agricultura de precisão	9
2.4. Medidor portátil de clorofila.....	10
2.5. Técnicas de sensoriamento remoto.....	12
2.6. Sensoriamento remoto integrado com agricultura de precisão.....	17
2.7. Resposta espectral para estimar produtividade e avaliar status nutricional em plantas	18
2.8. Veículos aéreos não tripuláveis em sistemas de sensoriamento remoto.....	19
2.9. Aplicação de análises estatísticas	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	23
3.1. Implantação e condução do experimento	23
3.2. Sistema de sensoriamento remoto (SR) utilizando uma haste	26
3.3. Sistema de sensoriamento remoto (SR) utilizando um balão com gás hélio.....	29
3.4. Processamento das imagens e extração dos índices.....	33
3.6. Determinação do teor de nitrogênio (N) foliar.....	36
3.7. Avaliação da relação entre dose de N e as variáveis índices, SPAD e N foliar.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1. Sistema de sensoriamento remoto com haste de três metros.....	38
4.1.1. Primeira fase experimental	38
4.1.2. Segunda fase experimental	45
4.2. Sistema de sensoriamento remoto utilizando Balão	53

4.2.1.	Primeira fase: aos 28 dias após adubação (DAA)	54
4.2.2.	Segunda fase: aos 51 dias após adubação (DAA)	58
5.	CONCLUSÕES.....	63
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
7.	APÊNDICES	70
	Apêndice A.....	70
	Apêndice B.....	72
	Apêndice C.....	74
	Apêndice D.....	75
	Apêndice E.....	76
	Apêndice F.....	82
	Apêndice G.....	83
	Apêndice H.....	84
	Apêndice I.....	85
	Apêndice J.....	86
	Apêndice K.....	87
	Apêndice L.....	88
	Apêndice M.....	89
	Apêndice N.....	90
	Apêndice O.....	91
	Apêndice P.....	92
	Apêndice Q.....	93
	Apêndice R.....	94
	Apêndice S.....	95
	Apêndice T.....	96

RESUMO

SILVA JUNIOR, Mário Cupertino da, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2006. **Detecção do efeito da adubação nitrogenada em *Brachiaria decumbens* utilizando técnicas de sensoriamento remoto.** Orientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Co-orientadores: Daniel Marçal de Queiroz, Ricardo Capúcio de Resende, Dilermando Miranda da Fonseca e Darly Geraldo de Sena Júnior.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de utilizar técnicas de sensoriamento remoto para detectar variação nos status nutricionais em *Brachiaria decumbens*. Foram demarcadas parcelas em uma área de pastagem, submetidas a cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) com 6 repetições cada, avaliadas em delineamento inteiramente casualizado. Para as avaliações, foram utilizados dois sistemas de sensoriamento remoto (SR). Os sistemas de SR foram compostos por câmeras digitais, cabos, placa de digitalização de imagens e microcomputadores, sendo que um sistema utilizou uma haste com três metros de altura e o outro um balão, a gás hélio, para levantamento das câmeras nas alturas de 15, 20, 25 e 30 m. Como os sistemas podem adquirir imagens em duas bandas espectrais simultaneamente, foram testados os seguintes pares de bandas: NIR (câmera monocromática com filtro passa alta para a banda do infravermelho próximo) e R (banda vermelha da câmera colorida), NIR e G (banda verde da câmera colorida), NIR e R (câmera monocromática com filtro passa banda para a banda do vermelho) e NIR e G (câmera monocromática com filtro passa banda para a banda do verde). Os dados foram coletados em duas fases, a primeira teve início com uma adubação em cobertura das plantas com cinco doses de nitrogênio (N). Nesta primeira fase, a aquisição das imagens, a mediação dos valores de SPAD e a amostragem das folhas para medição do teor de N foram realizadas aos 15, 21 e 32 dias após a adubação (DAA), no período de fevereiro a março de 2006. Na segunda fase, após a reaplicação das doses de N, as mesmas avaliações foram realizadas aos 28, 36, 45 e 53 DAA no período

de março a maio de 2006. Em ambas as fases foram utilizados os índices de vegetação NDVI, GNDVI e SAVI “mono” e “color”, com os índices formados pelas câmeras monocromáticas acopladas com filtros e pela câmera colorida, respectivamente. Os resultados encontrados na primeira fase pelo sistema de SR com haste mostraram que SPAD e N foliar aos 15 DAA e os índices $NDVI_{mono}$ e $SAVI_{mono}$ aos 21 e 32 DAA não foram capazes de detectar os diferentes status nutricionais proporcionados pela aplicação de N. O índice $GNDVI_{mono}$ apresentou, no geral, os maiores valores de correlação com o N foliar, SPAD e MS em todos os períodos após a adubação utilizando o sistema da haste, sendo considerado o índice mais indicado para detectar as variações nutricionais nesta fase. Na segunda fase de avaliação, utilizando o sistema de SR com haste, todas as variáveis testadas foram influenciadas pelas diferentes doses de N, e dentre todas as variáveis o $GNDVI_{color}$ foi o índice que proporcionou os maiores valores de correlação com SPAD, N foliar e MS. Já no sistema de SR do balão, cujas coletas das imagens foram somente aos 28 DAA, na primeira fase, e aos 51 DAA na segunda, os três índices $NDVI_{color}$, $GNDVI_{color}$ e $SAVI_{color}$, nas quatro alturas testadas, ajustaram a modelos lineares de primeiro ou segundo grau e, portanto, foram capazes de detectar os efeitos das doses de N. O $GNDVI_{color}$ foi o índice com os maiores valores de correlação com SPAD, N foliar e MS nos dois períodos de aquisição e nas quatro alturas testadas. As maiores correlações entre os índices “color” e SPAD, N foliar e MS, na primeira fase experimental, foram obtidas com imagens capturadas a 30 m de altura. Os índices formados com a banda verde se mostraram mais eficientes na relação com a estimativa nutricional foliar, com o teor de N foliar e com a produtividade de matéria seca do que os índices utilizando a banda vermelha em todas as fases e sistemas testados. Os dois sistemas de SR propostos foram capazes de detectar os diferentes status nutricionais na forrageira nas duas fases experimentais.

ABSTRACT

SILVA JUNIOR, Mário Cupertino da, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, September of 2006. **Detection of the effect of nitrogen fertilization in the *Brachiaria decumbens* using remote sensing techniques.** Advisor: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Co-Advisers: Daniel Marçal de Queiroz, Ricardo Capúcio de Resende, Dilermando Miranda da Fonseca and Darly Geraldo de Sena Júnior.

The present work was developed with the goal of using remote sensing techniques to detect variations in nutritional status in *Brachiaria decumbens*. The experimental plots were formed in a pasture area. The data was evaluated using a statistical model of a completely randomized design, with five doses of nitrogenous (0, 50, 100, 150 e 200 kg.ha⁻¹), with six repetitions. Two remote sensing systems were used for the evaluations. The systems were composed of digital cameras, wires, a framegrabber and microcomputers. One system set the camera at three meters above ground using a metal framework and the other used one helium-gas balloon to lift the cameras to the heights of 15, 20, 25 and 30 meters. Since the systems can acquire images in two spectral bands simultaneously, the tested pairs of bands were: NIR (monochrome camera with a near infrared high-pass band filter) and R (red band of color camera), NIR and G (green band of color camera), NIR and R (monochrome camera with red pass band filter) and NIR and G (monochrome camera with green pass band filter). The data was acquired in two periods. The first began with the five nitrogenous dose application (N) in February, and the second began after the pasture cutting and the reapplication of the five N doses at the end of March. In the first period, the images acquisition, the SPAD measurements and the nitrogen content in the leaves were determined at 15, 21 and 32 days after fertilization (DAF). In the second period, the same evaluations were done at 28, 36, 45 and 53 DAF. In both periods the vegetation indices NDVI, GNDVI and SAVI “mono” and “color” were evaluated using the bands from monochrome cameras with filters and color cameras, respectively. The results using the metal framework

in the first period showed that SPAD and leaf N content at 15 DAF and the $NDVI_{mono}$ and $SAVI_{mono}$ at 21 and 32 DAF were not able to detect the different nutritional status of N. The $GNDVI_{mono}$ obtained, in general, the highest values of correlation with leaf N content, SPAD and MS (dry mass) in all dates using the metal framework. Thus, $GNDVI_{mono}$ was considered the most indicated index to detect the nutritional variations in this period. In the second period and using the metal framework, all the tested variables were influenced by the different doses of N, and the $GNDVI_{color}$ was generally the index that obtained the best correlation with SPAD, leaf N content and MS. The balloon remote sensing system was used only at 28 DAF in the first period at 51 DAF in the second. The three indices $NDVI_{color}$, $GNDVI_{color}$ and $SAVI_{color}$ at the four tested heights adjusted the linear models of first or second degree and therefore were capable of detecting the effects of the doses of N. The $GNDVI_{color}$ was the index with the highest values of correlation with SPAD, leaf N content and MS in the two periods of acquisition at the four tested heights. The best correlations between the indices “color” and SPAD, leaf N content and MS in the first experimental period were obtained with images acquired at thirty meters of height. The indices using green band showed better relationship with the leaf chlorophyll estimation, the leaf N content and the dry mass productivity than those using the red band in all the periods and tested systems. Both remote sensing systems were capable of detecting the different nutritional status of the forage in the two experimental periods.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca na produção pecuária mundial sendo detentor do maior rebanho bovino comercial do mundo. Apresenta custo de produção relativamente mais baixo em razão da exploração ser predominantemente em pastagens. Por isso o Brasil tem grande capacidade de competição internacional e se destaca como maior exportador mundial de carne bovina.

As áreas de pastagens ocupam grande parte das áreas agricultáveis do Brasil, entretanto, o crescente avanço da agricultura sobre áreas de pastagens nestes últimos anos, vem fazendo com que a produção de leite e de carne se desloque para regiões de solos mais pobres, inadequados à agricultura. As vantagens financeiras da agricultura vêm exigindo que os pecuaristas aumentem a produtividade e competitividade da exploração para viabilizar a pecuária em terras agricultáveis. Portanto, aumenta-se a necessidade de obter uma maior produção de forragem em um espaço cada vez mais limitado e em condições menos favoráveis.

A adubação é um fator de fundamental importância para o aumento da produtividade de forragens, tendo o nitrogênio (N) como um dos principais nutrientes, pois eleva a qualidade da forragem disponível para o animal e a capacidade de suporte da pastagem.

O predomínio de pastagens nativas que apresentam baixo rendimento e a implantação de forrageiras em solos com baixa fertilidade são fatores que limitam a disponibilidade e a qualidade da forragem.

Por outro lado, o uso de fertilizantes nitrogenados deve ser de forma otimizada e economicamente viável sem pressão ao meio ambiente. Em países desenvolvidos, cujo custo da adubação nitrogenada é relativamente baixo, o uso de altas taxas desse nutriente é adotado, em busca de uma maior produtividade. Isto está levando à contaminação de grande parte das águas subterrâneas, pois o nitrogênio, na forma de nitrato, tem grande mobilidade no solo. Já em países em desenvolvimento como o Brasil, o elevado custo do

adubo nitrogenado tem limitado a utilização de manejo intensivo de pastagens com alta taxa de lotação animal. A ausência de suprimento de nitrogênio pode levar a reduções drásticas na produção de forragem e à degradação das pastagens. Com isso, para aumentar a produtividade, o manejo racional da adubação nitrogenada na pastagem terá um papel primordial no desenvolvimento sustentável da pecuária.

O desenvolvimento de qualquer cultura não só varia entre talhões, mas também dentro do talhão, principalmente devido à variabilidade da disponibilidade nutricional e das propriedades físicas e químicas do solo. Identificar essa variabilidade durante o desenvolvimento da planta pode permitir o diagnóstico de causas que ainda poderiam ser corrigidas em tempo hábil para otimizar a produtividade, inserindo-se na filosofia da agricultura de precisão.

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas de forma a estudar maneiras de identificar o status nutricional relacionado ao nitrogênio em diversas culturas, de forma prática e menos onerosa. Medidores portáteis de clorofila estimam a quantidade de clorofila presente na planta, sendo este valor proporcional ao teor de nitrogênio, porém este método exige o contato físico com as folhas em seu funcionamento. Já outros métodos promissores são as técnicas de sensoriamento remoto, que também capturam informações espectrais dos pigmentos das plantas através de sensores, porém sem ter contato com a mesma utilizando a reflectância da cultura.

A reflectância das culturas pode ser avaliada por radiômetros, por imagens orbitais através de satélites, imagens aéreas ou terrestres utilizando câmeras digitais. Acredita-se que com a popularização das câmeras digitais sua utilização para medição da reflectância do dossel poderá tornar-se um dos métodos mais viáveis economicamente.

As aplicações de sensoriamento remoto em estudos de culturas agrícolas têm feito uso extensivo dos índices de vegetação para avaliar a reflectância do dossel de culturas, pois estes são combinações entre bandas espectrais que servem para realçar as feições de vegetação e também minimizar efeitos do solo, angulares e atmosféricos.

A tecnologia de sensoriamento remoto integrada com a agricultura de precisão representa uma promissora fronteira para a tecnologia aplicada no

monitoramento de recursos ambientais. Porém, o custo para se obter uma imagem de alta resolução espacial pode limitar a adoção desta tecnologia para a maioria dos produtores.

A utilização de veículos aéreos não tripulados vem se firmando como uma importante ferramenta para a agricultura de precisão. Sua aplicação vem sendo favorecida pelo atual estágio de desenvolvimento tecnológico na área agrícola integrando o sensoriamento e o monitoramento com equipamentos a custos mais acessíveis.

A implementação de técnicas de manejo localizado de pastagens pode auxiliar os pecuaristas na obtenção da sustentabilidade econômica e ambiental da produção de lã, leite e carne. No entanto, devido a menor receita por hectare comparado com a agricultura, as estratégias propostas para o manejo localizado de pastagens devem ser de baixo custo.

Neste contexto, no presente trabalho foi avaliada a hipótese de discriminação entre diferentes doses de adubo nitrogenado através de índices espectrais, utilizando sistemas de sensoriamento remoto terrestre e aéreo, leituras de um medidor portátil de clorofila e análises de nitrogênio foliar determinado em laboratório. Essa hipótese baseia-se no fato de quanto maior o teor de nitrogênio na planta, mais intensa será a tonalidade verde nas plantas, mantendo constantes outras variáveis como espécie, variedade, período, entre outras, e que, por conseguinte através de imagens digitais (índices espectrais) seja possível identificar o efeito das diferentes doses de nitrogênio e correlacionar as variações espectrais com as concentrações do nutriente na planta. E assim avaliar a correlação e a eficiência deste método com outros métodos já muito utilizados, como o do medidor de clorofila (SPAD) e análise do teor de nitrogênio foliar.

Dessa forma, o objetivo geral com esse trabalho consistiu na utilização de técnicas de sensoriamento remoto para detectar diferentes status nutricionais relativos à aplicação de nitrogênio em *Brachiaria decumbens*.

Os objetivos específicos foram:

- Correlacionar índices espectrais, medidor de clorofila SPAD 502 com os teores de N foliar em plantas de *Brachiaria decumbens* analisadas em laboratório em diferentes dias após a adubação.

- Avaliar dois tipos de câmeras, monocromática e colorida, na determinação dos índices espectrais para detectar efeitos de doses de nitrogênio.
- Avaliar a utilização do balão para sustentação das câmeras em diferentes alturas na detecção dos efeitos das diferentes doses de nitrogênio aplicadas em *Brachiaria decumbens*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Manejo e adubação de pastagens

As pastagens têm sido a principal fonte de alimento para os bovinos no Brasil ao longo dos anos. Atualmente, estima-se que a área total de pastagens no país esteja ao redor de 180 milhões de hectares dos quais cerca de 56% são representados por espécies forrageiras cultivadas, principalmente, por plantas do gênero *Brachiaria* (MARTHA JÚNIOR & VILELA, 2002).

O Brasil tem o maior rebanho bovino comercial do planeta, correspondendo a 15% do total mundial e é o segundo maior produtor de carne bovina, com 6,9 milhões de toneladas equivalente-carcaça produzida a baixo custo de produção, tornando-se o país mais competitivo em nível internacional. Números como esses revelam os avanços da pesquisa agropecuária no setor, deixando o Brasil numa confortável posição favorável relativamente à produção e qualidade do produto. O boi nacional, alimentado em pastagens, destaca-se como um dos de melhor qualidade para consumo humano, o que o faz livre de males como o da vaca louca que recentemente atingiu países da América do Norte e Europa (EMBRAPA, 2004). De acordo com os dados divulgados pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, as exportações brasileiras de carnes somaram US\$ 33,481 milhões na média de dezembro de 2005. O valor é 9,4% superior à média de novembro, do mesmo ano, sendo de US\$ 30,595 milhões. No comparativo com dezembro de 2004, quando a média atingiu US\$ 24,717 milhões, houve um incremento de 35,5% na exportação (CMA, 2005).

A produção de leite no âmbito nacional registrou significativo crescimento nas últimas três décadas. Em 2001, as indústrias do setor registraram um aumento de 248%, contra 78% dos demais segmentos. Já em 2002, o leite representou 19% do valor bruto da produção pecuária. A produção leiteira desempenha também um relevante papel social, principalmente na

geração de empregos. São mais de um milhão e cem mil propriedades que exploram o leite e ocupam diretamente 3,6 milhões de pessoas (EMBRAPA, 2004).

Minas Gerais lidera a produção nacional de leite e derivados. Sua produção, em 2002, foi de 6,1 bilhões de litros, volume correspondente a 29,10% do total brasileiro que foi da ordem de 21,0 bilhões de litros. O agronegócio do leite é de grande representatividade no Estado. Gera cerca de 576 mil empregos diretos e fatura aproximadamente US\$2,4 bilhões por ano (INDI, 2006).

As áreas de pastagens, ao longo dos anos, vêm sofrendo processos de degradação, que foram definidos por Macedo (1995), como um processo evolutivo de perda de vigor, de produtividade e de capacidade de recuperação natural das pastagens para sustentar os níveis de produção e qualidade exigida pelos animais, assim como o de superar os efeitos nocivos de pragas, doenças e plantas invasoras, chegando ao ponto da degradação avançada dos recursos naturais, em razão de manejos inadequados.

Como exemplo do que vem acontecendo, no cerrado, atualmente, o declínio da produtividade das pastagens com o tempo (degradação) constitui o maior obstáculo para o estabelecimento de uma pecuária bovina sustentável em termos agronômicos, econômicos e ambientais e os fatores responsáveis por isso nessa região são a falta de cuidados, devido à baixa fertilidade dos solos, o manejo inadequado e o uso limitado de corretivos e fertilizantes (MARTHA JÚNIOR & VILELA, 2002).

O manejo da pastagem visa obter equilíbrio entre o rendimento e a qualidade da forragem produzida e a manutenção da composição botânica desejada para o pasto, com concomitante produção ótima por animal e por área (NASCIMENTO JÚNIOR et al., 1994).

Outro fator que está cada vez mais obrigando o pecuarista a intensificar sua produção é a elevação do custo da terra, tendo como influência fatores como o crescimento da renda populacional, da produção de grãos e de outros produtos da agroindústria. Esses efeitos provocam um deslocamento e/ou intensificação da exploração pecuária para locais distantes dos grandes centros, na procura de terras mais baratas, provocando aumento no custo dos

insumos (fertilizantes, suplementos minerais e combustíveis), inviabilizando a produção (PINHEIRO, 2002).

2.2. O uso da adubação nitrogenada como alternativa

A adubação é uma das alternativas recomendadas para combater a baixa fertilidade e aumentar a produtividade em áreas de pastagens, sendo o fertilizante nitrogenado o de maior impacto na busca pela qualidade e aumento da produtividade em forrageiras.

Segundo Mesquita e Pinto (2000), dentre os principais nutrientes, o nitrogênio (N) destaca-se como essencial, pois proporciona maior perfilhamento e produção associada muitas vezes à melhora da qualidade da forragem produzida.

Com o uso de fertilizantes, principalmente os nitrogenados, pode-se ter um aumento substancial na eficiência dos processos de crescimento e desenvolvimento na produção de forrageiras (GARCEZ NETO et al., 2002), maximizando ou otimizando o lucro, redução da susceptibilidade a doenças e ataques de pragas, elevando a qualidade da forragem, além de proporcionar reserva de energia e proteção ao meio ambiente (SCHRÖDER et al., 2000).

Rodrigues (2002) avaliou respostas de quatro doses de adubo nitrogenado (0, 180, 630 e 1080 mg kg⁻¹de solo), quatro doses de calcário (0, 1.587,6, 3.175,2 e 4.762,8 mg kg⁻¹de solo) e três doses de enxofre (0, 108 e 216 mg kg⁻¹de solo) em *Brachiaria decumbens* cultivada em solo proveniente de uma pastagem degradada, sendo que o trabalho foi conduzido em casa de vegetação. Concluiu-se que o nitrogênio foi o nutriente que mais influenciou na produção de matéria seca, perfilhamento e área foliar comprovando sua essencialidade na recuperação de pastagens degradadas.

A adubação em pastagens, particularmente a nitrogenada, é prática fundamental quando se pretende aumentar a produção de matéria seca, pois o nitrogênio presente no solo, não é suficiente para as gramíneas de alta produção expressarem o seu potencial (MARCELINO et al., 2003). Os autores avaliaram a influência de tensões hídricas (35, 60, 100 e 500 kPa) e doses de nitrogênio (0, 45, 90, 180, 360 kg ha⁻¹ na cultura de *Cynodon spp. Cv. Tifton 85* cultivado na região do Cerrado e observaram que a taxa de produção de

matéria seca e o índice de área foliar aumentaram com as doses de nitrogênio. Porém nos períodos de baixa temperatura não houve respostas do índice de área foliar às doses crescentes de nitrogênio e não se observou influência das tensões hídricas nas variáveis analisadas.

Alguns trabalhos tratam à utilização da adubação nitrogenada como fator fundamental em relação ao aumento da produtividade. Soria (2002) caracteriza bem esse assunto quando cita que uma das peças chaves no manejo de pastagens que tem provocado aumento na produtividade na propriedade e melhora da rentabilidade econômica tem sido o uso de fertilizantes nitrogenados. Em um estudo sobre o efeito de diferentes lâminas de água (0, 30, 70, 100 e 150 %CC) e adubação nitrogenada (0, 100, 275, 756 e 2.079 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio) por nove ciclos de crescimento do capim Tanzânia, Soria (2002) observou aumento nas produções de massa seca com o aumento da aplicação de nitrogênio, porém na dose acima de 756 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de nitrogênio não houve efeito, só uma melhora na qualidade da forragem. O mesmo autor relatou também que se deve dar maior atenção em estudos de doses de nitrogênio para máximo retorno econômico em relação ao máximo de produção.

Restle et al. (2000), objetivando avaliar a produtividade animal e o retorno econômico do uso de uréia e sulfato de amônio, ambos fonte de nitrogênio, em pastagem de inverno de aveia preta e azevém, com dose de 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio parcelada em três aplicações, observaram que a adubação nitrogenada representou 34,10% e 47,56% do custo total da pastagem, para uréia e sulfato de amônia respectivamente. Houve ganho de peso médio diário de 0,579 e 0,615 kg e 873 e 842 kg ha⁻¹ de peso animal para uréia e sulfato de amônia respectivamente, entretanto não houve diferença significativa entre as fontes de nitrogênio. Os autores ressaltam que se pode considerar altos os custos de implantação das pastagens de inverno de aveia preta e azevém e que dependendo do nível da necessidade de adubação nitrogenada, pode exigir alto investimento pelo produtor, sendo necessário que os recursos sejam usados da maneira mais eficiente e racional possível.

O aumento da produtividade, qualidade e o lucro são os principais fatores almejados pelos produtores, porém para a obtenção satisfatória destes é necessário manejo racional da adubação e do pastejo, de forma a conter

desperdícios, evitar pressões ao meio ambiente em situações de elevadas doses de nutrientes, reduzir os custos dos insumos e otimizar a produção e a eficácia no aproveitamento dos nutrientes. Neste contexto, estratégias como agricultura de precisão associadas a sistemas de sensoriamento remoto vêm sendo propostas com a finalidade de aperfeiçoar na recomendação da adubação nitrogenada.

Schroder et. al. (2000) citam que aplicação de altas doses de nitrogênio é comumente utilizada por agricultores como segurança na produtividade, porém isto pode gerar efeitos desfavoráveis ao meio ambiente, portanto deve-se dar importância à necessidade de análise da reserva deste nutriente no solo, bem como no uso do fertilizante em locais específicos dentro do campo.

Recomendações de fertilizantes nitrogenados sem adequado conhecimento da necessidade para a cultura, pode ocasionar a redução na eficiência de utilização do nutriente (PETERSON et al., 1993).

2.3. Agricultura de precisão

A agricultura de precisão foi iniciada na década de 80, usando tecnologias disponíveis para recomendar a aplicação de fertilizantes de acordo com a necessidade no campo. Esta técnica tem um significativo componente no sistema agrícola, oferecendo benefícios na produtividade, lucratividade, sustentabilidade, qualidade, segurança, proteção ambiental, qualidade de vida e desenvolvimento econômico rural (ROBERT, 2002).

A agricultura de precisão tem como um de seus principais objetivos maximizar a eficiência na utilização dos insumos agrícolas, aplicando-os diferencialmente ao longo de uma determinada área conforme as reais necessidades de cada zona de manejo pré-estabelecida (COELHO, 2005). O mesmo autor cita que em função da necessidade de recuperação ou renovação das áreas de pastagens degradadas, devido, principalmente, ao esgotamento da fertilidade natural dos solos, há grande possibilidade de aplicação dos conceitos e das tecnologias da agricultura de precisão no gerenciamento da fertilidade dos solos.

Saber o quanto adubar, ou seja, determinar a dose necessária de adubo para suprimento de nitrogênio às plantas para aumento da produtividade é de

fundamental importância para a satisfação dos agricultores e ambientalistas no cultivo de qualquer cultura.

Os principais métodos utilizados na avaliação do estado nutricional de plantas são as identificações visuais de sintomas de deficiência e excesso nutricional, análises das plantas pela diagnose foliar e testes bioquímicos (MALAVOLTA et al., 1986).

Diversos métodos vêm sendo desenvolvidos com intuito de se mensurar a quantidade dos nutrientes presentes no solo e nas plantas para a partir daí ser possível efetuar a recomendação necessária de adubação.

2.4. Medidor portátil de clorofila

Uma maneira prática de avaliar a condição nutricional de nitrogênio nas plantas tem sido através do medidor portátil de clorofila SPAD. O SPAD é um equipamento que apresenta resultados confiáveis, de fácil uso, além de não ser destrutivo. É utilizado para medir indiretamente o teor de clorofila na folha e conseqüentemente indicar o status de nitrogênio, devido à proporcionalidade que este nutriente tem em relação à clorofila (COSTA et al., 2001).

O princípio de operação do medidor de clorofila SPAD 502 é baseado na radiação transmitida pela folha, sendo esta medida por dois sensores em dois comprimentos de onda, o primeiro mede na região de 650 nm (vermelho) e o segundo mede a quantidade de luz transmitida no comprimento 940 nm (NIR – infravermelho próximo) do espectro. Os sensores cobrem uma área de 2 x 3 mm da folha, que é relativamente uma pequena proporção em relação ao total de área da folha, por isso uma rigorosa e representativa amostragem é importante para aumentar a confiabilidade dos dados, visto também que há diferença de planta para planta, entre diferentes idades das folhas e na variação da posição do equipamento na folha. Sendo assim a amostragem deve incluir folhas no mesmo estágio de crescimento e posição na folhas (SCHEPERS et al., 1998).

Costa et al. (2001) obtiveram sucesso utilizando este medidor na avaliação do status de nitrogênio em folhas de planta de milho, em um experimento conduzido durante 1996 e 1997, em Ottawa e Montreal no Canadá. Foram testadas as doses de nitrogênio (0, 85, 170 e 255 kg ha⁻¹) em

seis genótipos de milho e todos mostraram aumento nos valores das leituras do medidor SPAD e da clorofila os quais correlacionaram significativamente com as doses de nitrogênio.

Hussain et al. (2000) utilizaram o medidor de clorofila para efetuar o gerenciamento de nitrogênio na cultura do arroz na Ásia. Outros pesquisadores utilizaram o medidor portátil de clorofila como ferramenta para medir o status nutricional de nitrogênio em plantas de feijão (CARVALHO et al., 2003; SORATTO et al., 2004). Guimarães et al. (1999) utilizaram o medidor portátil de clorofila SPAD 502 para avaliar o teor de clorofila do limbo foliar de tomateiro e diagnosticar o status de nitrogênio nas plantas.

Em quatro cultivares de *Panicum maximum* (Aruana, Tanzânia, Tobiata e Vencedor) sob efeitos de três doses de nitrogênio (0, 80 e 160 kg ha⁻¹) e duas de fósforo (0 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅) foi utilizado o medidor de clorofila SPAD para determinar a produtividade das forrageiras e teores de nitrogênio. Observou-se correlação linear positiva, entre os teores de clorofila e doses de nitrogênio aplicadas, com coeficientes de correlação médios de 0,85 e de 0,87 entre as leituras em SPAD e o teor de nitrogênio. Conforme se aumentou a dose de nitrogênio na adubação, o verde das folhas recém-expandidas tornou-se mais intenso, sendo que os valores de leitura mostraram este fenômeno com bastante clareza. Na ausência de adubação nitrogenada as folhas mostravam-se cloróticas em virtude da deficiência de nitrogênio, mostrando valores de leitura inferiores (PAULINO et al., 1998).

O medidor de clorofila SPAD demonstrou em suas leituras de folhas recém-expandidas no capim-Aruana, cultivado em casa de vegetação de fevereiro a maio de 2002, os teores de clorofila apresentaram correlação (p<0,01) nas relações nitrato/amônio 100/0, 85/15, 70/30, 55/45, 40/60 e 25/75 %. Estas proporções foram fornecidas em solução nutritiva em dois crescimentos, sendo que o mais elevado valor SPAD obtido foi de 36,9 no primeiro crescimento e 38,8 no segundo crescimento (SANTOS, 2003). Manarim (2000), trabalhando com capim-Mombaça, encontrou valores de SPAD entre 41 e 45 nas folhas recém-expandidas, no segundo crescimento.

2.5. Técnicas de sensoriamento remoto

Outra forma que está sendo muito utilizada por pesquisadores no meio agrícola são as técnicas de sensoriamento remoto que buscam obter informações através da reflectância dos objetos. Os dados podem ser obtidos por meio de imagens orbitais (satélites), imagens digitais obtidas por câmeras acopladas em sistemas aéreos ou terrestres, espectroradiômetros, entre outros. A premissa utilizada é que cada objeto possui sua assinatura espectral (comportamento espectral) e mediante essa característica diversos estudos mostram que é possível discriminar tipos de vegetação, solo, água, níveis nutricionais nas plantas e também identificar presença de pragas e doenças na lavoura. A Figura 1 ilustra a curva espectral de reflectância característica de uma folha verde sadia.

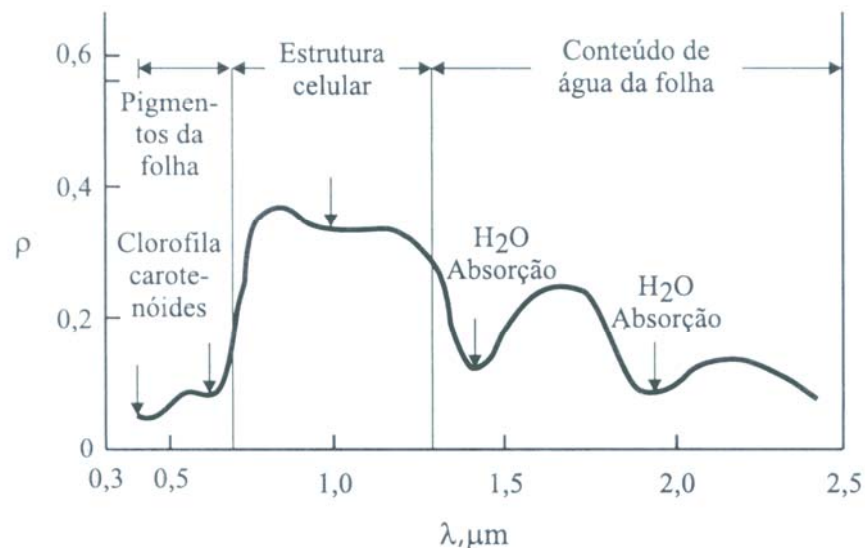


Figura 1. Curva de reflectância típica de uma folha verde, onde “ ρ ” representa os valores percentuais de reflectância e “ λ ” são os valores dos comprimentos de onda em μm . Fonte: MENESES et al. (2001).

Pela análise da Figura 1 pode-se visualizar a região do visível, compreendida entre 0,4 e 0,7 μm , onde os pigmentos de clorofila das folhas dominam a reflectância espectral. Entre 0,7 e 1,3 μm situa-se a região do infravermelho próximo onde existe mínima absorção de radiação eletromagnética e considerável reflectância espectral. E por último encontra-se a região do infravermelho de ondas curtas situada entre 1,3 e 2,6 μm e cuja

absorção devida à água líquida predomina na reflectância espectral das folhas nessa região (MENESES et al., 2001).

A partir dos espectros construídos da reflectância da energia eletromagnética incidente na vegetação pode-se verificar que existe diferença entre plantas de mesma espécie ou não e esta é atenuada ou intensificada em diferentes comprimentos de onda. Sendo assim este fator tem estimulado diversas pesquisas (BARNES et al., 1996; DIKER & BAUSCH, 2003) neste ramo de estudo com intuito de observar, avaliar e monitorar o desenvolvimento de plantas e suas características sob condições diferenciadas.

Blackmer et al. (1996) afirmam que a cor verde das plantas é frequentemente associada com o teor de clorofila foliar e este é altamente correlacionado com a concentração de nitrogênio em muitas plantas.

Mutanga et al. (2003) avaliaram o potencial de discriminação de diferentes doses de nitrogênio utilizando um espectrorradiômetro no crescimento da gramínea *Cenchrus ciliaris*, cultivado em estufa. As medidas espectrais da cultura, em cada dose, foram registradas sob condições controladas, em laboratório, no período de quatro semanas. Os resultados mostraram que houve diferença significativa entre os tratamentos na faixa do visível (550 a 750 nm) do espectro, provando ser promissor o sensoriamento remoto em culturas.

A característica espectral tem sido explorada na agricultura, principalmente através de imagens digitais, pela digitalização do atributo de reflectância dos objetos em estudo com diversas finalidades, como por exemplo, para o desenvolvimento de sistemas de sensoriamento remoto para diagnosticar o status nutricional e características do dossel.

Imagens aéreas infravermelhas falsa cor (NIR) foram usadas para detectar a variabilidade espacial do solo, o estresse nutricional da cultura e para analisar a variabilidade espacial da produtividade em uma cultura de milho. Os resultados do processamento das imagens NIR mostraram claramente grupos de pixels indicando a variabilidade espacial e também tipos de solo, que poderia ser usado com um guia para amostragem de solo no campo ao invés do convencional método de amostragem. A reflectância do dossel foi bem correlacionada com o rendimento da cultura ao 75º dia após a semeadura até o 141º dia, com a máxima correlação ao 125º dia e tendo

indicadas áreas com deficiência de nitrogênio depois de 75 dias após a semeadura. A variabilidade observada nas imagens NIR mostrou efeitos de fatores que tem afetado a produtividade, sendo que a variação espacial da produtividade foi linearmente correlacionada com a variação espacial das bandas individuais, infravermelho próximo (NIR), vermelho (R) e verde (G) (GOPALAPILLAI et al., 1998).

Uma pesquisa desenvolvida em Quebec (Canadá) demonstrou o potencial do uso de sensoriamento remoto, através de imagens aéreas, utilizando as faixas do visível e infravermelho-próximo do espectro para detectar infestação de plantas invasoras e estresse de nitrogênio na cultura. Uma combinação de populações controladas de plantas daninhas e três doses de nitrogênio (60, 120 e 250 kg ha⁻¹) foram aplicadas em uma plantação de milho e três vôos (4, 9 e 12 semanas após o plantio) foram feitos para a aquisição das imagens em um compacto imageador espectrográfico aerotransportado (CASI). Os dados foram analisados para cada vôo e para cada banda espectral separadamente. Os resultados indicaram que a reflectância do milho foi significativamente influenciada em certos comprimentos de onda, pela presença de plantas daninhas, por doses de nitrogênio e pela suas interações. A influência das plantas daninhas foi mais facilmente observada no segundo vôo, já o efeito do nitrogênio foi observado nos três vôos. A resposta à deficiência de nitrogênio foi mais evidente nos comprimentos de ondas em 498 nm e 671 nm. (GOEL et al., 2003).

Haboudane et al. (2002) geraram um modelo para predição da estimativa do teor de clorofila na cultura do milho, através dos índices TCARI (Índice de Reflectância Transformado por Absorção de Clorofila) cuja fórmula é $(3 [(R_{700} - R_{670}) - 0,2 (R_{700} - R_{550}) (R_{700}/R_{670})])$ e OSAVI (índice de vegetação para ajuste do solo otimizado) pela fórmula $((1 + 0,16) (R_{800} - R_{670}) / (R_{800} + R_{670} + 0,16))$, onde "R" é o valor de reflectância no comprimento de onda subscrito. Os índices foram calculados pelo processamento das imagens aéreas obtidas pelo sistema de aquisição (CASI). Os dados estimados pelo modelo mostraram a variabilidade de clorofila foliar com vários níveis de nitrogênio e revelaram uma concordância com o real, medido em terra, obtendo uma correlação de 0,81 entre os dados do teor de clorofila estimados e os medidos em campo.

Fotografias aéreas coloridas e monocromáticas obtidas com filtros foram digitalizadas para gerar valores digitais para as bandas do vermelho, verde e azul. Em seguida, correlacionar estes valores com a produtividade de grãos no estágio de crescimento R5 em um campo de produção de quatro híbridos de milho irrigado, submetido a cinco diferentes doses de nitrogênio nos anos de 1992 e 1993. Foi observado que os valores digitais da banda do vermelho forneceram melhor relação com nitrogênio do que a banda do verde ou azul. Por outro lado, a predição de produtividade as bandas verde e vermelho apresentaram melhores resultados do que a banda azul em ambos os anos. Já em 1993 uma fotografia monocromática com o filtro centrado em torno de 536 nm, teve seus valores digitais capazes de prever a resposta ao nitrogênio e também à produtividade, sendo que este último apresentou maior correlação, com 0,93, levando em consideração que os valores digitais sofreram correção de distorção (BLACKMER et al., 1996).

Barnes et al. (1996) ressaltam que imagens digitais são obtidas em faixas distintas do espectro eletromagnético e que os sensores utilizados no monitoramento da vegetação tipicamente as faixas do verde (G), vermelho (R) e infravermelho-próximo (NIR) do espectro. O autor ilustra na Figura 2 como exemplo da importância das áreas espectrais, respostas de altas resoluções espectrais em uma cultura do algodão em diferentes estágios de desenvolvimento. Durante o desenvolvimento da cultura há aumento da reflectância na região do infravermelho próximo (aproximadamente 725 a 900 nm). Nesta região houve maior reflectância nas estruturas foliares do que no solo exposto, isto ilustra a reflectância característica de cada objeto.

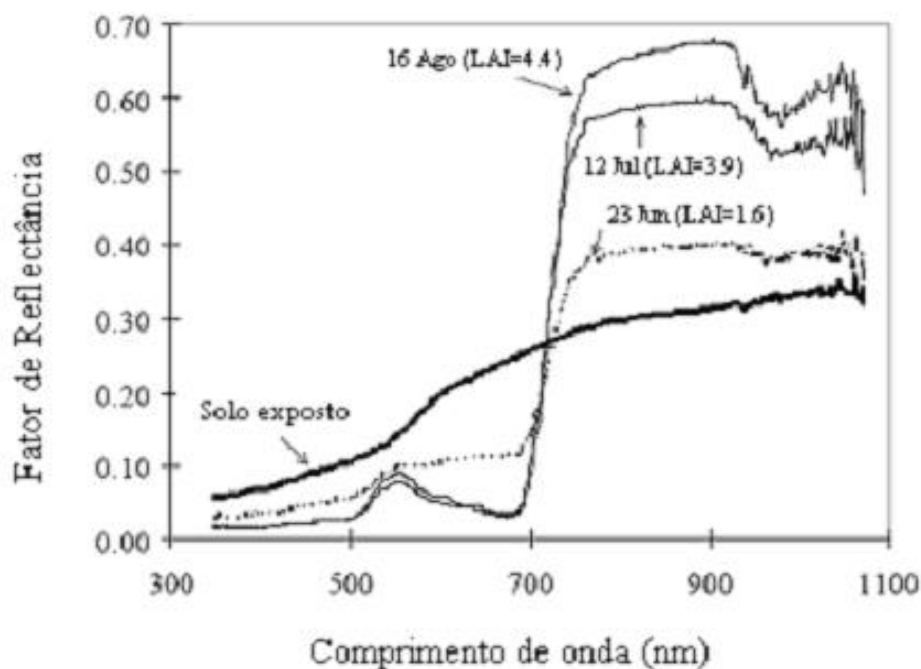


Figura 2. Gráficos espectrais de alta resolução das reflectâncias de solo exposto (Bare Soil) e dossel de algodão em diferentes estádios de desenvolvimento com os respectivos valores de índices de área foliar. Fonte: BARNES et al. (1996).

Houve também um aumento de reflectância na região do visível (banda verde em aproximadamente 550 nm) e um decréscimo na reflectância na banda do vermelho (aproximadamente de 650 a 690 nm) devido à reflectância e absorvância de clorofila respectivamente. Já o espectro na data mais próxima do início de desenvolvimento da planta (23 de junho) não se observou o mesmo efeito. O índice de área foliar aumenta com o desenvolvimento da cultura e o valor percentual de reflectância também tende a aumentar. Porém vale ressaltar que os espectros seguem a mesma tendência, mas em porcentagens de reflectâncias diferentes para as mesmas faixas de comprimento de onda. A Figura 2 assim como a Figura 1 é mais um exemplo da tendência da forma do espectro de reflectância da vegetação.

Solo e cultura possuem diferentes espectros favorecendo o estudo e o monitoramento de todos os componentes do sistema produtivo, bem como efeitos naturais que auxiliam nas tomadas de decisões.

Hill et al. (2004), mostraram que um modelo gerado pela composição de imagens pode ser usado para estimar a taxa média de crescimento do pasto e que também pode fornecer a variabilidade espacial do potencial de

crescimento ao longo do campo. Os autores obtiveram correlações significativas entre predição e observação da taxa de crescimento da forragem em três fazendas na zona agrícola do oeste da Austrália, sendo os valores de r^2 de 0,67, 0,75 e 0,70.

2.6. Sensoriamento remoto integrado com agricultura de precisão

O crescimento exponencial da população mundial, terras cultiváveis sendo utilizadas para urbanização e uma desfavorável economia nas fazendas, têm forçado os agricultores a buscarem métodos que promovam a sustentabilidade da produção e o lucro. Assim o uso do sensoriamento remoto integrado à agricultura de precisão para melhorar a produtividade reduzindo o uso de produtos químicos e o suprimento de água tem sido a meta principal pelos agricultores (MORGENTHALER et al., 2003).

Gopalapillai et al. (1998) avaliaram a utilização de técnicas de sensoriamento remoto com imagens digitais aéreas, na detecção da variabilidade espacial em um campo cultivado com milho e, por conseguinte a construção de zonas de manejo. Observaram que as imagens coletadas provaram ser uma promissora ferramenta na obtenção da variabilidade espacial de culturas agrícolas para efetuar gerenciamento da produção em locais específicos e também obter a predição da produtividade.

Alguns outros pesquisadores estão testando esta integração entre sensoriamento remoto e agricultura de precisão como Mutanga et al. (2003), que utilizaram um espectroradiômetro para compor o sistema de sensoriamento remoto hiperespectral e coletar dados espectrais de *Cenchrus ciliaris* com diferentes doses de fertilização, cultivado em estufa. O objetivo foi avaliar a possibilidade de detectar os efeitos de diferentes níveis de fertilização através do espectro. Com intuito de a partir daí verificar a possibilidade de mapear a variação da qualidade das forrageiras. Os resultados mostraram-se promissores e foi observado que a reflectância do dossel desta cultura pode identificar diferentes status nutricionais, sendo assim possível efetuar o mapeamento nutricional.

Blackmer et al. (1996) citam que técnicas de sensoriamento remoto, com digitalização de fotografias aéreas, podem ser utilizadas para identificar

porções de um campo de milho que estão com deficiência de nitrogênio comparados com o resto do campo. Os autores detectaram a variabilidade do status de nitrogênio nesta cultura, tornando possível o manejo localizado. Barnes et al. (1996) descrevem métodos para utilizar imagens multiespectrais de campos com vegetação para determinar zonas de manejo com a aplicação de fertilizantes diferenciada na área cultivada.

2.7. Resposta espectral para estimar produtividade e avaliar status nutricional em plantas

A resposta espectral da vegetação tem sido utilizada para formular diversos índices de vegetação, como o índice de vegetação para ajuste do solo (SAVI) desenvolvido por Huete (1988), que são freqüentemente bem correlacionados com descrições do dossel das plantas durante o desenvolvimento da cultura (BARNES et al., 1996).

Índices de vegetação (VI) têm sido propostos para avaliar produção de matéria seca e de índice de área foliar em trigo (APARÍCIO, 2002). Wiegand et al. (1994), mostraram que índices de vegetação são úteis no mapeamento de salinidade do solo em um campo de cana de açúcar.

Índices vegetativos da diferença normalizada baseados na reflectância referente à faixa do vermelho (NDVI) ou verde (GNDVI) do espectro estão sendo frequentemente utilizados para avaliar o teor nutricional nas plantas além de sua qualidade e produtividade (MOGES et al., 2004). Segundo estes autores, em um experimento para avaliar a biomassa, produtividade e teor de nitrogênio foliar em trigo de inverno, para cada estágio de crescimento, constataram que o NDVI e o GNDVI apresentaram maiores coeficientes de correlação com o status de nitrogênio do que com a biomassa, sendo que nenhum índice pareceu ter maior vantagem sobre outro.

Na França as áreas de pastagens ocupam 21% do total da área do país e um grande esforço está sendo feito para desenvolver um sistema capaz de estimar a produção de biomassa. Para isto foi realizado em 13 áreas de pastagens na França estudos utilizando imagens do satélite SPOT4-VEGETATION e um modelo de simulação STICS-Prairie para a estimação de características das pastagens e os resultados obtidos confirmaram a

capacidade das imagens bem como os modelos de predição. O índice de área foliar foi bem explicado por índices de vegetação, sendo que o índice NDVI, que é calculado pela faixa do visível e do infravermelho próximo (IVP) não foi tão bom estimador das variáveis vegetativas quanto o SWVI $((IVP - IVM)/(IVP + IVM))$, que é um índice que utiliza o infravermelho médio (IVM) em seus cálculos (BELLA et al., 2004).

Diker e Baush (2003) montaram um experimento em duas áreas de plantações de milho onde foram coletados, semanalmente, valores de índices de área foliar, biomassa e dados da reflectância das plantas (índices de vegetação), durante as estações de crescimento no ano de 1996. Os resultados mostraram que o índice de reflectância de nitrogênio (NRI) poderia ser utilizado com sucesso para estimar características de crescimento das plantas. Tanto para o índice de área foliar quanto para biomassa, todos os índices de vegetação (NRI, NDVI, SAVI e MSAVI) apresentaram coeficientes de determinação similares.

2.8. Veículos aéreos não tripuláveis em sistemas de sensoriamento remoto

No uso das técnicas de sensoriamento remoto existem diversos meios para se obter informações, como satélites, aviões acoplados com câmeras digitais de altas resoluções, entre outros, porém estes métodos muitas vezes ainda são inviáveis para o agricultor. Assim, estudos estão sendo desenvolvidos com intuito de gerar opções de aquisição de informações remotamente menos onerosas, como por exemplo, câmeras digitais acopladas em aeromodelos, evitando assim o uso de vôo tripulável.

Segundo Neris (2001), o desenvolvimento de veículos aéreos não tripulados tem ocorrido, principalmente, devido ao grande avanço tecnológico verificado nos últimos anos e ao potencial de aplicação nas áreas agrícolas. O mesmo autor cita que um dos principais objetivos dos veículos aéreos não tripuláveis é a substituição de aeronaves convencionais utilizadas na obtenção de fotografias aéreas para o monitoramento de plantações e áreas sob controle ecológico.

Os veículos aéreos não tripulados apresentam um grande potencial por desenvolverem a mesma tarefa e ter um custo relativamente mais baixo do que os vôos convencionais, bem como por minimizar o risco com a vida humana (ALONÇO et al., 2005).

Alguns projetos de pesquisas de diferentes universidades e centros de pesquisas, voltados para a construção de veículos aéreos não tripulados (Unmanned Air Vehicle - UAV), estão sendo desenvolvidos como exemplo os projetos Aerosonde, AURORA, AVATAR e MAFV (NERIS, 2001).

Segundo Piovesan (2004), outro projeto desenvolvido é o SOFIA, que é uma pequena aeronave rádio-controlada (2,2 m de envergadura) com capacidade para levar em seu interior uma câmara de vídeo compacta e que possibilita realizar um vôo estável, em baixa velocidade, e com bom controle de altitude, o que permite a obtenção de fotografias nítidas e uniformes. Este projeto se mostrou eficiente e versátil para a obtenção de fotografia aérea, podendo ser utilizado para a fotointerpretação e com algumas adaptações. O autor ressalta que a agricultura poderá também se beneficiar do sistema, obtendo dados amostrados, permitindo uma análise das regiões para a otimização da produção. Um menor número de pessoas podem executar o levantamento, possibilitando redução não só em mão de obra mas nos custos do equipamento.

Balan (2003) implementou e aplicou técnicas de segmentação de imagens para a contagem de indivíduos pertencentes a uma determinada população de aves, e de seus respectivos ninhos, em imagens aéreas de seu habitat, pois o monitoramento biológico de determinadas espécies de aves representa uma fonte importante de informações referentes à qualidade do meio ambiente. A obtenção das imagens aéreas foi realizada em conjunto com o projeto ARARA, que tem como objetivo a implementação de aeronaves não tripuladas em escala reduzida para a utilização no monitoramento agrícola e do meio-ambiente. Assim o autor utilizou uma aeronave para sobrevoar um ninhal e fazer a aquisição dos dados em uma máquina digital embutida controlada por rádio. Os resultados demonstraram que as imagens segmentadas foram aplicadas a um algoritmo que permitiu obter uma estimativa válida para o número de indivíduos de cada imagem.

Portanto acredita-se que o desenvolvimento de um sistema de sensoriamento remoto composto por um balão a gás hélio possa ser eficiente na constituição de zonas de manejo, sendo uma alternativa economicamente viável.

2.9. Aplicação de análises estatísticas

Com intuito de verificar a existência de influência significativa entre as variáveis obtidas por técnicas de sensoriamento remoto, para estimar as fundamentais características das plantas para sistemas de produção agrícolas, e variáveis, no caso de status nutricional, doses de fertilizantes, utiliza-se análises estatísticas de regressão. Através das regressões são gerados modelos que devidamente ajustados e avaliados podem representar o relacionamento entre as variáveis e estimar a influência que cada variável exerce sobre a outra.

Análises estatísticas indicaram que a resposta espectral na cultura do milho é influenciada significativamente devido à presença de plantas daninhas e/ou à variação de níveis da fertilização com nitrogênio (GOEL et al., 2003).

As variáveis de produção de matéria seca, índice de área foliar e índice vegetativo (NDVI) foram submetidas à análise estatística de regressão, com o objetivo de verificar a existência de correlação significativa entre elas e doses de adubo nitrogenado, para avaliar se as alterações em uma das variáveis eram acompanhadas por modificações nas outras. Foi observado que os modelos de regressão potenciais se mostraram adequados para explicar a relação de matéria seca e índice de área foliar no capim-Tanzânia, com melhores correlações em períodos úmidos (CUNHA, 2004).

Modelos de regressão linear foram gerados para estabelecer relações de funcionalidade entre a altura média do dossel e o logaritmo natural da radiação transmitida ao solo em pastagens de *Brachiaria brizantha* (BRAGA, 2004).

Medeiros (2003) realizou análise de regressão linear entre resultados de acúmulo de forragem em cinco cultivares de *Cynodom* (Florico, Florona, Estrela, Coastcross e Tifton 85) medidos e estimados (via modelo matemático), para avaliar as suas relações e verificou-se que o modelo matemático poderá

ser utilizado para estimar o acúmulo de forragem nas pastagens, desde que não existam limitações físicas e de fertilidade de solo e os fatores de variação sejam unicamente fotoperíodo e temperatura.

Lavres Júnior (2001) efetuou a análise de regressão para a quantidade de massa seca, concentração dos macronutrientes no tecido vegetal, área foliar total, medição indireta da quantidade de clorofila em unidades de valor de SPAD em função de doses de adubo nitrogenado e de potássio em capim-Mombaça. O autor concluiu que no primeiro crescimento das plantas a quantidade de clorofila (em unidade de valor SPAD) no tecido das lâminas de folhas recém-expandidas mostrou significância para a interação entre o suprimento de N e de K na solução nutritiva e as concentrações de N, K, Ca, Mg e S nos tecidos vegetais foram influenciadas pelo fornecimento das doses de N e K na solução nutritiva.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Implantação e condução do experimento

O experimento foi implantado no Setor de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG, em uma área de pastagem estabelecida com *Brachiaria decumbens*. O projeto foi executado no período de janeiro a maio de 2006. A cidade de Viçosa está localizada a uma altitude de aproximadamente 650 m, com coordenadas geográficas de 20°45'54" latitude sul e 45°52'54" de longitude oeste.

No início de janeiro efetuou-se a demarcação da área experimental e a amostragem de solo. Uma amostra de solo composta foi obtida de 20 amostras simples, coletadas na camada de 0 a 20 cm, com distribuição espacial uniforme na área demarcada.

No dia 03/02/06 efetuou-se uma roçada para uniformização das plantas de capim-braquiária a 10 cm de altura, utilizando uma roçadeira com retirada da forragem da área.

A partir dos resultados das análises químicas (micro e macronutrientes) e físicas (textura) das amostras de solo (Apêndice F) foram aplicados, segundo Cantarutti et al. (1999), no dia 10/02/06, em cobertura, 50 kg ha⁻¹ de superfosfato simples, distribuídos uniformemente em toda a área experimental.

Os tratamentos consistiram de cinco doses de nitrogênio (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹ de nitrogênio) avaliadas em um delineamento inteiramente casualizado com seis repetições, perfazendo um total de 30 parcelas de 3 x 3 m (Figura 3).



Figura 3. As parcelas na área experimental

Em 17/02/06 aplicou-se o adubo nitrogenado (uréia) correspondente a cada dose nas respectivas parcelas.

Para as avaliações na área experimental foram implantados dois sistemas de sensoriamento remoto. Um com sistema de aquisição de imagens com câmeras digitais, cabos, placa de digitalização de imagens e microcomputador, com utilização de uma haste de três metros de altura para o posicionamento das câmeras e o outro com um balão a gás hélio para levantamento das câmeras nas alturas de 15, 20, 25 e 30 m. O sistema com a haste foi realizado com o propósito de adquirir imagens em diferentes dias após a adubação e o sistema com o balão com propósito de aquisição de imagens em diferentes alturas em um só dia.

Após a adubação nitrogenada iniciou-se a primeira fase do experimento obtendo-se imagens digitais, estimativas do teor de clorofila, utilizando um medidor de clorofila e coletando-se folhas para análise do teor de nitrogênio foliar aos 15, 21, 28 e 32 dias após a adubação (DAA). A aquisição de imagens utilizando a haste de três metros de comprimento, as estimativas do teor de clorofila e as folhas para a análise de teor de nitrogênio foliar foram coletadas

aos 15, 21 e 32 DAA, enquanto aos 28 DAA foram obtidas somente as imagens em diferentes alturas utilizando o balão.

Aos 32 DAA foi realizado o corte das plantas a 20 cm de altura do solo em uma área útil de 1 m² dentro de cada parcela. Após a colheita a forragem foi pesada e retirada uma amostra de 300 a 500 g do capim, que foi colocada em sacos de papel, também pesada e levada à estufa a 65°C por 72 horas. Depois de secas as amostras foram pesadas novamente e assim calculou-se a matéria seca produzida. Depois da amostragem no primeiro corte a área não colhida da parcela (bordadura) também foi cortada a 20 cm do solo e iniciada uma segunda fase de avaliação. Esta teve início em 28/03/06 com reaplicação das mesmas doses de nitrogênio acrescidas de 60 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio em todas as parcelas.

Devido à mudança do clima nesta segunda fase e com redução de chuvas, luminosidade e temperatura, a resposta das plantas à adubação deu-se de forma mais lenta, com isto a aquisição das imagens, dos valores de SPAD e das folhas para análise do teor de nitrogênio foliar foram nos períodos de 28, 36, 45, 51 e 53 dias após a adubação (DAA). Estes períodos mais longos foram devido a menores taxas de crescimento das plantas, consequência de condições climáticas desfavoráveis.

Na aquisição das imagens aos 28, 36, 45 e 53 DAA nesta segunda fase foi utilizada a haste de três metros, também foram efetuadas as estimativas do teor de clorofila e colhidas as folhas para a análise do teor de nitrogênio foliar em laboratório, enquanto aos 51 DAA coletaram-se imagens em diferentes alturas utilizando o balão.

Aos 53 DAA foi realizado o corte das plantas, para medir a produtividade de matéria seca, utilizando os mesmos procedimentos da primeira fase.

As imagens foram coletadas em condições de céu aberto, entre as 10 e 14 horas e em presença de sol. Somente as imagens aos 28 DAA da primeira fase, utilizando o balão, é que foram realizadas a partir das 15 horas na condição de céu aberto, devido a problemas nos sistemas de aquisição de imagens e de comunicação dos computadores. Não foi necessário irrigar as plantas durante o período experimental em razão da magnitude e distribuição adequadas da precipitação pluvial ocorrida durante o experimento (Apêndices

P, Q, R, S). As plantas daninhas foram controladas manualmente em todas as parcelas sempre que necessário.

Os dados foram submetidos a análise estatística para testar a hipótese de discriminação dos status nutricionais entre as diferentes doses de adubo nitrogenado por índices de vegetação (NDVI, GNDVI e SAVI), obtidos através do processamento das imagens digitais, por valores estimados do teor de clorofila através do medidor SPAD 502 e pelos valores obtidos pela análise do teor de nitrogênio foliar em laboratório.

Segundo Regazzi (2004), uma vez que o tratamento é um fator quantitativo, os dados devem ser analisados por meio de regressão. Sendo assim, como forma de verificar a existência de relação funcional entre a variável independente (doses de nitrogênio) com as variáveis dependentes analisadas (índices, SPAD e nitrogênio foliar) foram realizadas análises de regressão com o teste F para a falta de ajustamento e para a análise de variância da regressão. Foi utilizado também o método de correlação para avaliar a relação entre as variáveis. Todas as análises foram feitas separadamente para cada variável em cada período após a aplicação do adubo.

3.2. Sistema de sensoriamento remoto (SR) utilizando uma haste

Este sistema de sensoriamento remoto foi constituído por um sistema de aquisição de imagens composto por um conjunto de câmeras digitais (monocromáticas e colorida). Para posicionar as câmeras foi utilizada uma haste com três metros de altura, com as câmeras fixadas na parte superior da mesma, tendo suas lentes voltadas para baixo, focalizando o alvo (parcelas), conforme a Figura 4.

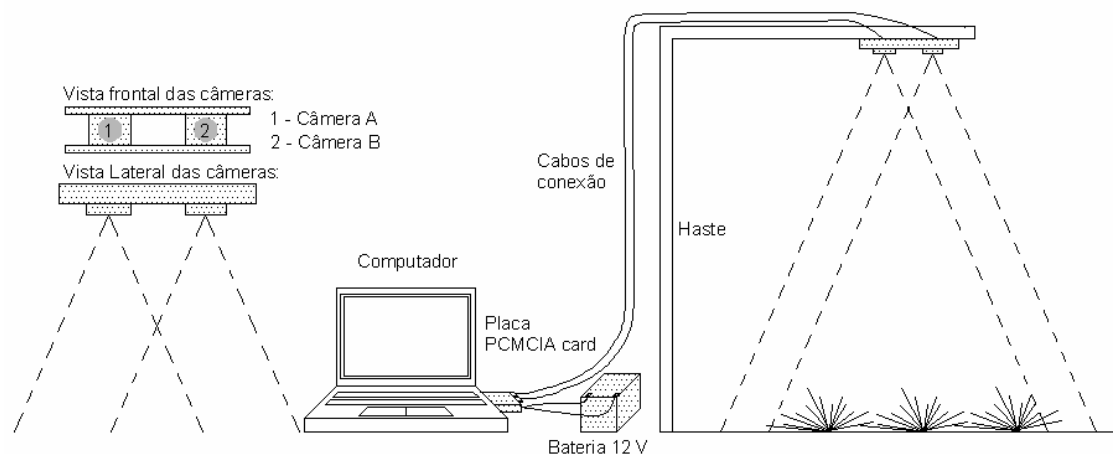


Figura 4. Esquema representativo do sistema de sensoriamento remoto utilizando uma haste para fixação das câmeras.

O sistema de aquisição de imagens utilizado foi o *STH-DCSG-VAR/-C stereo head* do fabricante Videre Design (Califórnia, EUA). Este sistema estereoscópico foi composto por duas câmeras, distanciadas de 13,5 cm, que capturavam duas imagens, simultaneamente, da mesma cena.

Neste sistema de sensoriamento foram utilizadas três câmeras do modelo *STH-DCSG-VAR/-C*, duas monocromáticas e uma colorida, que atuavam sempre duas a duas. Nas câmeras monocromáticas foram acoplados filtros ópticos que limitavam a faixa do espectro que sensibilizava o sensor da câmera. Para limitar à faixa do verde, utilizou-se um filtro passa banda centrado no comprimento de onda 535 nm e com largura de 100 nm, para a faixa do vermelho foi utilizado um filtro passa banda centrado no comprimento 660 nm com largura também de 100 nm e para a faixa do infravermelho próximo NIR utilizou-se um filtro passa alta com início no comprimento de onda de 695 nm e término aos 1.050 nm.

As câmeras que começavam as coletas eram uma monocromática com filtro NIR e a outra colorida, após a aquisição das imagens de todas as parcelas trocava-se a câmera colorida por outra monocromática e acoplava-se o filtro vermelho e após o término da captura das imagens de todas as parcelas trocava-se o filtro vermelho pelo verde e assim fazia mais uma coleta de imagens por todas as parcelas. Com isso tinham-se imagens de todas as parcelas com o uso de filtros ópticos nas bandas do NIR, vermelho e verde, e imagens coloridas que são formadas pelas bandas R(vermelho), G(verde) e

B(azul). As faixas do espectro que sensibilizavam o sensor da câmera colorida estão apresentadas na Figura 5.

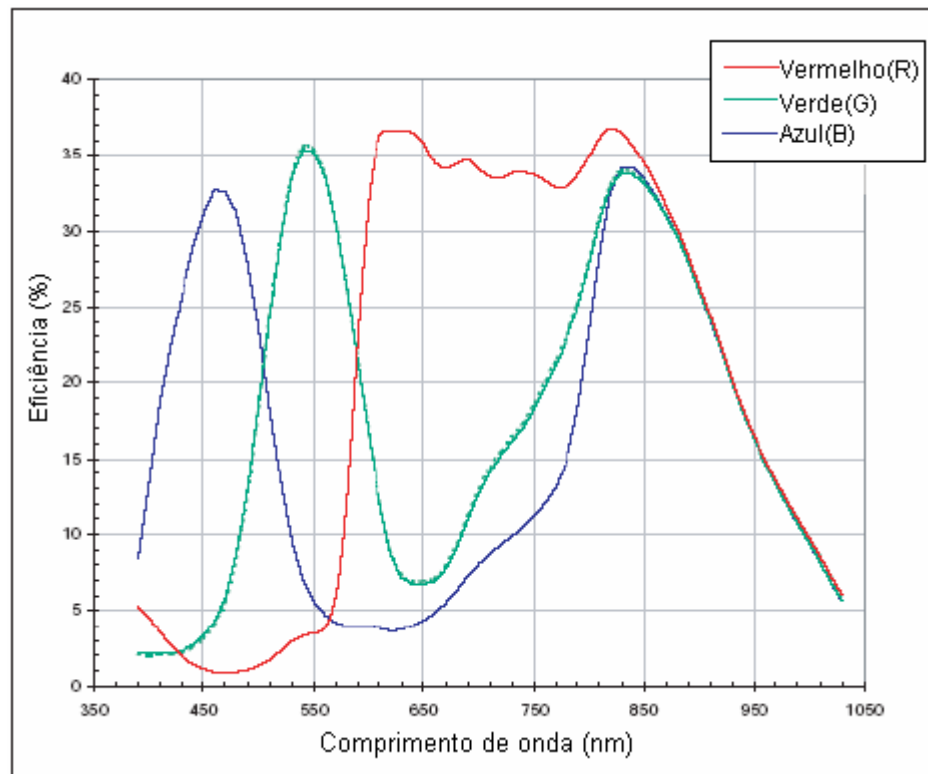


Figura 5. Espectro de sensibilidade do sensor MT9V022 às bandas vermelho (R), verde (G) e azul (B) da câmera colorida em função do comprimento de onda em nm. Fonte: VIDERE DESIGN (2005).

As imagens foram transformadas em índices com base nos valores dos pixels das diferentes bandas. Assim foram obtidos três índices que são a relação entre duas bandas do espectro. Portanto, obteve-se o mesmo índice de duas formas diferentes, um com as imagens da câmera colorida e outro com as da câmera monocromática.

As câmeras foram conectadas a um microcomputador portátil através de cabos com 10 m de comprimento conectados em uma placa de interface digital PCMCIA card IEEE 1394. Para o funcionamento das câmeras foi necessário uma alimentação externa, portanto acoplou-se uma bateria de 12 Vcc à placa PCMCIA card. O padrão das lentes utilizadas foi C-mount com a distância focal de 2,8 mm. As imagens foram salvas no formato BMP (Bitmap) com dimensão de 480(V) x 640(H) pixels, utilizando o software SRI's Small Vision System (SVS) fornecido pelo próprio fabricante das câmeras. O sensor das câmeras formadores das imagens era o imageador CMOS MT9V022 no formato de 1/3".

Sendo assim foi possível obter em todas as imagens a parcela inteira de 3 x 3 m, já que as imagens representavam uma área de aproximadamente 3,18 x 4,87 m com uma resolução espacial de aproximadamente 7 mm pixel⁻¹.

As características das câmeras, tempo de exposição, ganho e correção do gamma, foram ajustadas para 50, 17 e 1, respectivamente. Com exceção da correção do gamma, estes valores são em porcentagem e foram escolhidos baseados em testes preliminares. O ajuste do foco também foi mantido o mesmo durante todas as aquisições deste sistema de sensoriamento remoto, posicionado no NEAR da lente. Já a abertura da entrada de luz (diafragma) era regulada antes do início da coleta de imagens em todas as trocas de pares das câmeras, em todos os períodos após a adubação e como não havia numeração no equipamento, a regulagem era feita através da análise da imagem formada no computador pela focalização do alvo (parcela) e observando o efeito do ruído (estouro do pixel) pela quantidade de luz.

3.3. Sistema de sensoriamento remoto (SR) utilizando um balão com gás hélio

Este sistema de sensoriamento remoto foi composto por um balão inflado com gás hélio e um sistema de aquisição de imagens, acoplado a um sistema remoto de comunicação de dados. O sistema capturou as imagens nas alturas de 15, 20, 25 e 30 m aos 28 DAA na primeira fase e 51 DAA na segunda fase.

As câmeras utilizadas neste sistema foram às mesmas utilizadas no sistema de sensoriamento utilizando a haste, porém só foi utilizado um par de câmeras durante todas as coletas, sendo este a câmera monocromática com filtro NIR e a câmera colorida.

Foi construída uma gôndola de alumínio, que foi amarrada ao balão, onde foram alocados todos os equipamentos necessários para a aquisição das imagens. Todos os equipamentos foram presos à plataforma da gôndola através de velcros rebitados em sua estrutura. A Figura 6 ilustra o sistema de sensoriamento remoto utilizando o balão, e na Figura 7 é apresentado este sistema em funcionamento, imageando a área experimental.

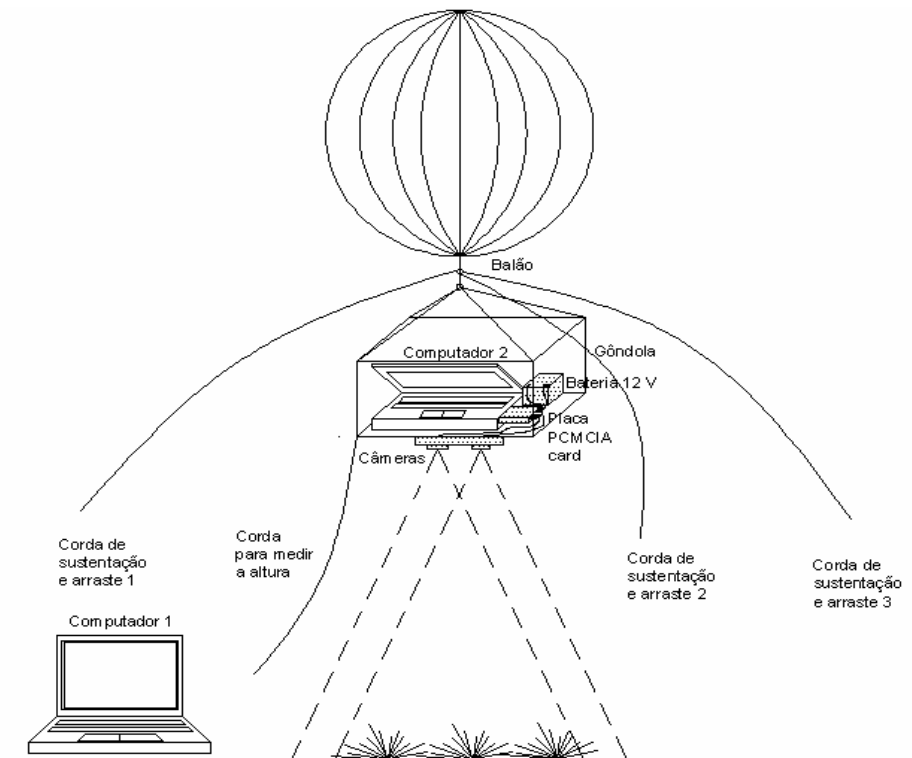


Figura 6. Esquema do sistema de sensoriamento remoto utilizando o balão com gás hélio.



Figura 7. Sistema de sensoriamento remoto utilizando o balão com gás hélio imageando as parcelas na área experimental.

As Figuras 8, 9 e 10 ilustram, respectivamente, a aquisição das imagens neste sistema, a disposição dos equipamentos dentro da gôndola e as parcelas enquadradas em uma imagem adquirida a 30 metros de altura .



Figura 8. Aquisição das imagens no sistema de sensoriamento remoto utilizando o balão com gás hélio.

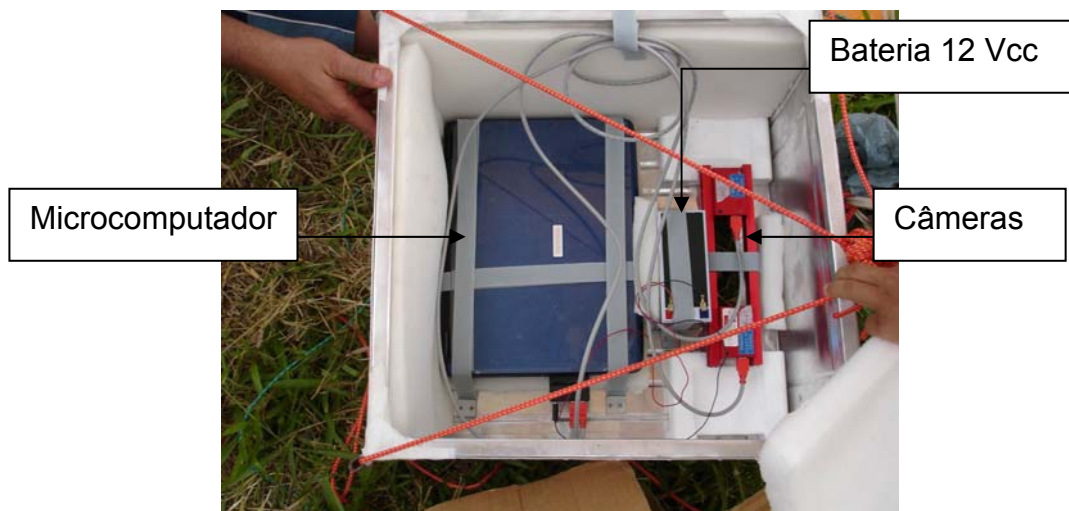


Figura 9. Disposição dos equipamentos para aquisição de imagens dentro da gôndola.



Figura 10. As parcelas na área experimental imageada pelo sistema de sensoriamento remoto utilizando o balão com gás hélio a 30 metros de altura.

O balão utilizado foi do tipo “blimp”, de forma esférica, com 4 m de diâmetro, com capacidade máxima de aproximadamente 33 m³ de gás hélio, proporcionando uma força de empuxo suficiente para levantar todos os equipamentos, que juntos pesaram cerca de 12 kg. O balão foi envolto por 12 cordas de 3 mm de diâmetro, que passavam por atraques presos ao balão e se prendiam nas duas extremidades formando uma gaiola. Na extremidade inferior dessas cordas a gôndola foi presa ao balão por meio de duas cordas de 5 mm de diâmetro, que se cruzavam embaixo da gôndola passando nos quatro cantos da caixa suportando-a.

Para fazer a sustentação e o arraste do balão por toda a área, foram utilizadas três cordas de 5 mm, com 35 m de comprimento. Estas foram presas à extremidade inferior do balão, entre dois nós, de forma que qualquer força aplicada pelas cordas em qualquer direção fosse uniformemente distribuída por todo o balão e que a movimentação do balão fosse controlada para o sentido desejado.

Para medir a altura das câmeras foi utilizada uma quarta corda de 3 mm graduada de 5 em 5 m, presa à gôndola, que também servia para estabilizar a

movimentação da gôndola e obter imagens com bom posicionamento das parcelas.

O sistema de aquisição de imagens foi o mesmo do sistema de sensoriamento com haste, com exceção do cabo da câmera ao computador que ficava na gôndola que tinha 2 m.

Foi necessário utilizar um sistema de comunicação de dados, para efetuar a aquisição das imagens. Portanto utilizaram-se dois microcomputadores portáteis, um permanecia em terra e o outro ficava na gôndola. E através de um sistema de comunicação “wireless” e um software do tipo cliente/servidor, o computador em terra acessava o software da câmera no computador da gôndola e, por conseguinte via-se o que a câmera estava filmando. O sistema de comunicação apresentava um raio de atuação de aproximadamente 50 m.

O tempo de exposição, ganho e correção gamma foram ajustados para 50, 17 e 1, respectivamente. O ajuste do foco foi posicionado para o FAR e regulou-se a entrada de luz da mesma forma que no sistema de sensoriamento remoto com haste, baseada na imagem formada no microcomputador. Depois de efetuada todas as configurações acoplavam-se todos os equipamentos na gôndola, ligava-se o sistema de comunicação sem fio (wireless) nos dois micros e assim que eles se conectavam, iniciava-se o acesso do microcomputador cliente ao servidor e o sistema estava pronto para adquirir as imagens.

As alturas de 30, 25 e 20 m enquadravam todas as parcelas em uma única imagem, já para a altura de 15 m foi necessário o arraste do balão sobre a área e, portanto sendo necessárias mais de uma imagem para enquadrar todas as parcelas. As imagens retratavam áreas de aproximadamente 388, 690, 1.077 e 1.551 m² com uma resolução espacial de aproximadamente 3,3; 4,3; 5,5; 6,5 cm pixel⁻¹ respectivamente para as alturas de 15, 20, 25 e 30 m.

3.4. Processamento das imagens e extração dos índices

O processamento das imagens de ambos sistemas de sensoriamento remoto foi realizado utilizando o programa computacional Matlab (The

MathWorks, EUA), versão 6.5, e o pacote de ferramentas para processamento de imagens digitais.

Dentro de cada imagem, no sistema de sensoriamento remoto utilizando a haste, cortou-se um bloco de 240 x 240 pixels, visto que cada imagem enquadrava apenas uma parcela. Para o sistema de SR utilizando o balão, como cada imagem enquadrava mais de uma parcela cortou-se um bloco de 30 x 30 pixels dentro de cada parcela para todas as alturas. Em todos os cortes respeitou-se a bordadura da parcela e a partir destes blocos é que foram calculados os índices. Para efetuar os cortes no sistema de SR do balão utilizou-se o software Jasc Paint Shop Pro (Jasc Software, EUA), versão 6, devido ao tamanho das parcelas na imagem.

Ao invés da utilização do valor original do pixel das imagens, foram utilizados índices vegetativos, para realçar na imagem a informação a respeito do status nutricional das plantas e atenuar a influência da variação da iluminação natural. Como os sistemas podem adquirir imagens em duas bandas espectrais simultaneamente, foram testados os pares de bandas: NIR e R(câmera colorida), NIR e G(câmera colorida), NIR e R(câmera monocromática com filtro R) e NIR e G (câmera monocromática com filtro G), sendo que para o sistema de SR do balão foram utilizados apenas os pares com a câmera colorida.

O valor numérico do pixel é função do sistema óptico (câmera e lente), da geometria de iluminação e das propriedades espectrais do alvo. No presente trabalho, o valor foi função das duas últimas características, já que o primeiro foi mantido constante para cada período de aquisição. Considerou-se que a iluminação se manteve constante durante as aquisições de cada período, o valor do pixel foi apenas devido às propriedades espectrais do objeto. Dessa maneira, no processamento de imagens, para efetuar os cálculos dos índices, foi considerado que a reflectância do dossel foi igual à média dos pixels do bloco recortado.

Os índices estudados foram o NDVI (índice de vegetação da diferença normalizada), GNDVI (índice de vegetação da diferença de verde normalizado) e o SAVI (índice de vegetação ajustado para o solo) de acordo com as equações 1, 2 e 3.

$$NDVI = \frac{IV - Vm}{IV + Vm} \quad (1)$$

$$GNDVI = \frac{IV - Vd}{IV + Vd} \quad (2)$$

$$SAVI = \frac{IV - Vm}{IV + Vm + L} (1 + L) \quad (3)$$

em que,

- V_m* - valor numérico do pixel na banda do vermelho;
- IV* - valor numérico do pixel na banda do infravermelho próximo;
- V_d* - valor numérico do pixel na banda do verde;
- L* - constante de ajuste;
- NDVI* - índice de vegetação da diferença normalizada;
- GNDVI* - índice de vegetação da diferença de verde normalizado; e
- SAVI* - índice de vegetação ajustado para o solo.

O valor do coeficiente “L” escolhido foi 0,5, que é o valor utilizado para vegetação com densidade intermediária e, segundo Huete (1988), este valor minimiza a influência do solo de fundo para uma grande variação de índices de área foliar.

Todos os códigos fonte utilizados estão apresentados no apêndice.

3.5. Estimativa do teor de clorofila

As estimativas do teor de clorofila foram obtidas utilizando um medidor de clorofila SPAD 502 (Minolta Corporation, Japan), nos mesmos períodos das imagens, aos 15, 21, 32 DAA na primeira fase e aos 28, 36, 45, 53 DAA na segunda fase do experimento. Este aparelho mede valores SPAD que representam uma medida indireta do teor de clorofila na folha e conseqüentemente pode indicar o status de nitrogênio, devido à proporcionalidade que o nitrogênio possui em relação à clorofila (COSTA et al., 2001). Para efetuar as medições posicionou-se a folha entre o emissor e receptor do equipamento.

Foram efetuados 30 leituras no SPAD em cada parcela, sendo que cada valor foi medido em diferentes folhas ao longo de cada parcela e as folhas

escolhidas foram as mais novas completamente expandida com o equipamento posicionado na porção intermediária da folha. Após a obtenção dos 30 valores calculou-se a média para representar o teor de clorofila de cada parcela.

3.6. Determinação do teor de nitrogênio (N) foliar

O teor de N foliar foi utilizado para avaliar a correlação entre este e o obtido pelo medidor de clorofila SPAD e os índices vegetativos. Em cada parcela as 30 folhas em que foram utilizadas para estimar o teor de clorofila com o medidor SPAD 502 foram posteriormente colhidas, acondicionadas em sacos de papel, para determinar o teor de N em laboratório.

3.7. Avaliação da relação entre dose de N e as variáveis índices, SPAD e N foliar

Foram efetuadas análises de regressão para verificar a existência de relação funcional significativa entre as variáveis dependentes (índices, valores de SPAD e N foliar) e a variável independente (doses de N) em todos os períodos após a adubação analisados, utilizando o programa computacional Matlab (The MathWorks, EUA), versão 6.5, para desenvolver os algoritmos.

Os algoritmos efetuaram todos os cálculos dos testes F para a falta de ajustamento e análise de variância da regressão, e também os testes dos coeficientes dos modelos pelo teste t. Primeiramente adotava-se o modelo de regressão linear simples, calculava-se a ANOVA e efetuava-se o teste F para a falta de ajuste, ao nível de 1% de probabilidade, para avaliar a qualidade do ajuste do modelo de regressão. Se o resultado fosse não significativo indicava que o modelo era adequado e então se efetuava o teste F, ao nível de 1% de probabilidade, para a regressão, com intuito de verificar se a variação da variável independente influenciava significativamente na variação da variável dependente e por fim executava-se o teste t com 1% de probabilidade, para analisar a significância do coeficiente do modelo (β_1). Caso contrário, se o resultado do teste para falta de ajustamento fosse significativo, concluía-se que o modelo linear de primeiro grau era inadequado e, portanto efetuava-se novamente a análise de variância, os testes F para falta de ajustamento e para

regressão, adotando o modelo de segundo grau, para verificar se o modelo era adequado e se havia influência da variação da variável independente para ao final executar o teste t para verificar a significância dos coeficientes (β_1 , β_2).

A relação entre as variáveis também foi avaliada pela correlação utilizando o software Microsoft Excel, entre índices (NDVI, GNDVI e SAVI) e valores de SPAD, índices e N foliar em cada período de aquisição dos dados e entre índices e a matéria seca (MS) produzida no último período de coleta de cada fase. Também foi efetuada a correlação entre valores de SPAD e N foliar em cada período e entre SPAD, N foliar e MS no último período. No caso dos índices gerados pelas imagens capturadas no sistema de sensoriamento utilizando o balão foi feita a correlação com os valores de SPAD e N foliar do período mais próximo, sendo na primeira fase o período de 32 DAA e na segunda fase 53 DAA.

Não foram testados modelos superiores ao segundo grau, por estes não representarem o fenômeno biológico da cultura, pois, em geral, a resposta com a elevação de doses de N é quadrático.

As variáveis dependentes analisadas em todos os períodos de aquisição no sistema de SR utilizando a haste foram os índices $NDVI_{color}$, $GNDVI_{color}$, $SAVI_{color}$, $NDVI_{mono}$, $GNDVI_{mono}$, $SAVI_{mono}$, os valores de SPAD e as análises de nitrogênio foliar. No sistema de SR utilizando o balão foram analisadas apenas as variáveis dependentes $NDVI_{color}$, $GNDVI_{color}$, $SAVI_{color}$, nas duas fases do experimento. Os subscritos “color” e “mono” especificam se as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida ou da monocromática, respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variáveis que proporcionaram um modelo de primeiro ou segundo grau adequado (resultado não significativo no teste F para falta de ajuste) e que também foram influenciadas pela variação das doses de N (resultado significativo no teste F para a regressão), foram consideradas como aptas para caracterizar diferentes status nutricionais nesta forrageira. Já as variáveis que apresentaram resultado significativo no teste F para falta de ajuste para os modelos de primeiro e segundo grau foram consideradas como não aptas.

4.1. Sistema de sensoriamento remoto com haste de três metros

4.1.1. Primeira fase experimental

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os resultados dos testes F para falta de ajustamento e regressão e os modelos de primeiro ou segundo grau que foram ajustados, respectivamente, em todos os períodos desta fase experimental.

As variáveis $NDVI_{color}$, $GNDVI_{color}$, $SAVI_{color}$, $NDVI_{mono}$, $GNDVI_{mono}$, $SAVI_{mono}$, SPAD e N foliar foram adquiridas aos 15, 21 e 32 dias após a adubação (DAA) e a matéria seca (MS), somente aos 32 DAA.

TABELA 1. Significância dos modelos lineares para falta de ajustamento, ao nível de 1%, no sistema de sensoriamento remoto com haste, aos 15, 21 e 32 dias após a adubação (DAA) da *Brachiaria decumbens*

Variáveis Dependentes	15 DAA	21 DAA	32 DAA
NDVI _{color}	2º Grau**	1º Grau**	1º Grau**
GNDVI _{color}	2º Grau**	1º Grau**	1º Grau**
SAVI _{color}	2º Grau**	1º Grau**	1º Grau**
NDVI _{mono}	2º Grau**	---	---
GNDVI _{mono}	1º Grau**	2º Grau**	2º Grau**
SAVI _{mono}	2º Grau**	---	---
SPAD	---	2º Grau**	1º Grau**
N foliar	---	1º Grau**	1º Grau**
MS			1º Grau**

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; SPAD: variável obtida pelo medidor de clorofila SPAD; N foliar: variável obtida pela análise do teor de N foliar em laboratório; MS: matéria seca produzida em toneladas por hectare; Os subscritos “color” e “mono” especificam que as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida e monocromática, respectivamente; **: teste F significativo para Análise de Variância da Regressão, ao nível de 1% de probabilidade; “---” modelos de 1º e 2º grau que não foram ajustados; Os campos em branco indicam que a variável não foi avaliada no determinado período.

TABELA 2. Modelos ajustados aos dados para cada variável dependente e coeficientes de determinação (R^2) aos 15, 21 e 32 dias após a adubação (DAA) no sistema de sensoriamento remoto com haste

Modelos ajustados	R^2
15 DAA	
$NDVI_{color} = 0,2886 + 0,0028 N - 8,6410 \times 10^{-6} N^2$	0,9139
$GNDVI_{color} = 0,2025 + 0,0029 N - 8,6190 \times 10^{-6} N^2$	0,9211
$SAVI_{color} = 0,4315 + 0,0042 N - 1,2886 \times 10^{-5} N^2$	0,9138
$NDVI_{mono} = 0,2521 + 0,0048 N - 1,4883 \times 10^{-5} N^2$	0,9289
$GNDVI_{mono} = 0,0309 + 0,0014 N$	0,9168
$SAVI_{mono} = 0,3771 + 0,0072 N - 2,2255 \times 10^{-5} N^2$	0,9288
21 DAA	
$NDVI_{color} = 0,3132 + 0,0010 N$	0,8309
$GNDVI_{color} = 0,2253 + 0,0012 N$	0,8691
$SAVI_{color} = 0,4686 + 0,0016 N$	0,8307
$GNDVI_{mono} = 0,1665 + 0,0030 N - 8,7533 \times 10^{-6} N^2$	0,9704
$SPAD = 34,5462 + 0,1417 N - 3,1143 \times 10^{-4} N^2$	0,9622
$N \text{ foliar} = 1,6190 + 0,0061 N$	0,9722
32 DAA	
$NDVI_{color} = 0,1819 + 0,0012 N$	0,8806
$GNDVI_{color} = 0,0845 + 0,0015 N$	0,9081
$SAVI_{color} = 0,2721 + 0,0018 N$	0,8807
$GNDVI_{mono} = 0,0078 + 0,0026 N - 6,6143 \times 10^{-6} N^2$	0,9646
$SPAD = 31,4867 + 0,0777 N$	0,9558
$N \text{ foliar} = 1,4227 + 0,0037 N$	0,8720
$MS = 2,2670 + 0,0193 N$	0,8835

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; SPAD: variável obtida pelo medidor de clorofila SPAD; N foliar: variável obtida pela análise do teor de N foliar em laboratório; MS: matéria seca produzida em toneladas por hectare; Os subscritos “color” e “mono” especificam que as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida e monocromática, respectivamente; Os coeficientes β_1 e β_2 dos modelos ajustados foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t “student”.

Aos 15 dias após a adubação (DAA), os valores das variáveis dependentes SPAD e N foliar não tiveram modelos de primeiro e segundo grau que se ajustassem aos dados. Este fato indica que neste período de crescimento as plantas ainda não apresentavam resposta significativa à adubação.

Por outro lado, todos os dados de índices vegetativos da *Brachiaria decumbens* (braquiária) se ajustaram a modelos de primeiro e segundo grau, o que indica que os dosséis das plantas foram influenciados pela aplicação de N, proporcionando variações nos valores digitais em cada tratamento. As plantas

provavelmente apresentavam nível de absorção dos nutrientes e desenvolvimento que permitiram detectar alterações somente no dossel.

Aos 21 e 32 DAA, somente os índices $NDVI_{mono}$ e $SAVI_{mono}$ apresentaram resultados significativos ao teste F para a falta de ajuste, indicando que estas variáveis não puderam explicar as variações dos efeitos do N aplicado com modelos de primeiro e segundo grau. No entanto, para as variáveis SPAD e N foliar os dados foram ajustados a modelos de primeiro ou segundo grau, ou seja, a resposta à adubação, nestes períodos, foi detectada não só pela análise do dossel, mas também pelas medições pontuais.

Dos índices “mono” somente para o GNDVI foi possível ajustar modelos de primeiro ou segundo grau, e foi também o que apresentou o maior R^2 aos 21 e 32 DAA (Tabela 2).

Os valores dos coeficiente das correlações entre os índices, resultantes de modelos lineares de primeiro ou segundo grau, com valores de SPAD, com valores das análises de N foliar e com valores de massa seca estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3. Correlações entre os índices de vegetação dos modelos ajustados e SPAD, N foliar e massa seca (MS) aos 15, 21 e 32 dias após adubação (DAA) no sistema de sensoriamento remoto com haste

ÍNDICES	15 DAA		21 DAA		32 DAA		
	SPAD	N foliar	SPAD	N foliar	SPAD	N foliar	MS
$NDVI_{color}$	0,8705**	0,7444**	0,7999**	0,8065**	0,6909**	0,6262**	0,6227**
$GNDVI_{color}$	0,8728**	0,7585**	0,8163**	0,8276**	0,7344**	0,6645**	0,6579**
$SAVI_{color}$	0,8703**	0,7444**	0,7997**	0,8062**	0,6906**	0,6259**	0,6226**
$NDVI_{mono}$	0,9045**	0,8131**					
$GNDVI_{mono}$	0,8075**	0,8304**	0,9059**	0,8991**	0,9264**	0,7856**	0,8160**
$SAVI_{mono}$	0,9044**	0,8131**					

** correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade;

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; SPAD: variável obtida pelo medidor de clorofila SPAD; N foliar: análise do teor de N foliar; MS: matéria seca produzida em toneladas por hectare; Os subscritos “color” e “mono” especificam que as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida e monocromática, respectivamente.

Aos 15 DAA, o $GNDVI_{mono}$ atingiu o maior valor de correlação com os valores de N foliar, e o $NDVI_{mono}$ o maior valor de correlação com os valores de SPAD, valor este muito próximo do $SAVI_{mono}$. Os índices $SAVI_{color}$ e $NDVI_{color}$ também apresentaram valores muito próximos.

Os índices “mono”, aos 15, 21 e 32 DAA, em geral, apresentaram tendência de maior correlação do que os índices “color” tanto para o SPAD como para o N foliar e MS no último período, enquanto o índice $GNDVI_{mono}$ foi o de menor correlação com SPAD aos 15 DAA.

As correlações entre o SPAD e o N foliar foram 0,9230, 0,9519 e 0,8468 para os períodos 15, 21 e 32 DAA, respectivamente. Aos 32 DAA, as correlações entre SPAD e MS e entre N foliar e MS foram 0,7778 e 0,7033, respectivamente.

De um modo geral, analisando o conjunto destes três períodos, verifica-se que os dados dos índices “color” se ajustaram a modelos de primeiro ou segundo grau em todos os períodos já o mesmo não aconteceu com os índices “mono”. Os índices “mono” tiveram tendência de maiores valores de R^2 (coeficiente de determinação) e de correlação, tendo como o índice de maior destaque o $GNDVI_{mono}$. Isto indica que os índices “color” foram suficientes para detectar os diferentes status nutricionais nos períodos testados, entretanto, acredita-se que a utilização de filtros limitantes das faixas do espectro, contribuiu para a obtenção destes resultados, principalmente à faixa do verde, que se mostrou mais sensível para identificar diferentes status nutricionais. As limitações das faixas, portanto favoreceram a discriminação de espectros com intensidades de reflectâncias diferentes destacando a feição observada. Todavia as faixas R, G, B do espectro eletromagnético que sensibiliza o sensor da câmera colorida são mais largas (Figura 5), podendo dificultar a discriminação dos espectros e, por conseguinte diminuir o destaque da feição e a relação com a estimativa e o teor de N foliar.

Nesta fase o $GNDVI_{mono}$ foi o índice mais indicado dentre os estudados para detectar diferentes status nutricionais na forrageira *Brachiaria decumbens* e ainda permite inferir a produtividade de matéria seca. Gitelson et al. (1996) verificaram que o $GNDVI$ foi muito mais sensível que o $NDVI$ para identificar diferentes taxas de concentração de clorofila em duas espécies de plantas.

Dentre os índices “color” o $GNDVI$ também teve tendência de maiores valores de R^2 nos modelos ajustados e dos maiores valores de correlações, mostrando que o uso da banda verde da câmera colorida também foi mais sensível para detectar os diferentes status nutricionais do que o uso da banda vermelha.

No geral, as correlações entre as variáveis foram altas, com uma tendência de diminuir com o avanço dos dias após a adubação. Este fato foi observado em outros estudos de comportamento espectral de plantas (MENEZES et al., 2001; GITELSON, 2004), que mostraram que o aumento do número de folhas leva à saturação os valores dos índices, diminuindo a resposta dos índices com o avanço do desenvolvimento das plantas.

Nas Figuras 11, 12 e 13 estão os valores do $GNDVI_{mono}$, SPAD e N foliar, respectivamente, em função das doses de N aos 21 dias após a adubação com as respectivas equações. Estas variáveis apresentaram os maiores valores de coeficiente de determinação de toda a fase. Observa-se que o incremento dos valores da variável $GNDVI_{mono}$ com o aumento na disponibilidade de N diminuiu (Figura 11), o que também ocorreu com os valores de SPAD (Figura 12).

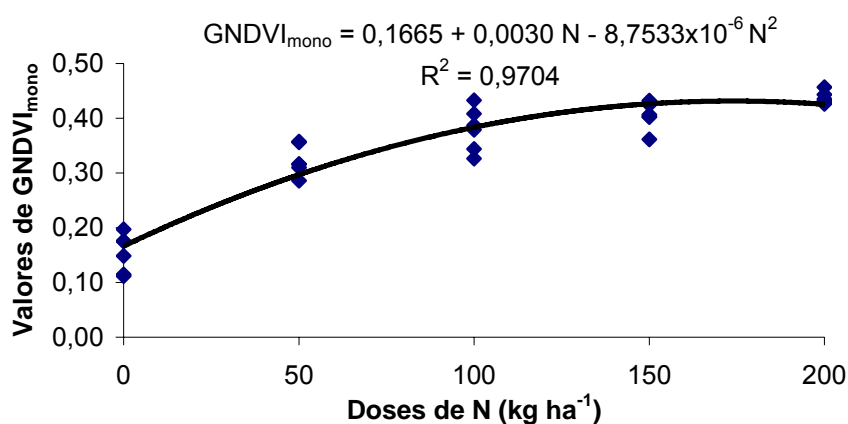


Figura 11. Valores de $GNDVI_{mono}$ em função das doses de N aplicadas em *Brachiaria decumbens* aos 21 dias após adubação (DAA) na primeira fase do sistema de sensoriamento remoto com haste.

Na dose 171,36 kg ha⁻¹ de N se encontra o valor máximo do índice $GNDVI_{mono}$ aos 21 DAA pela derivada do modelo desta variável.

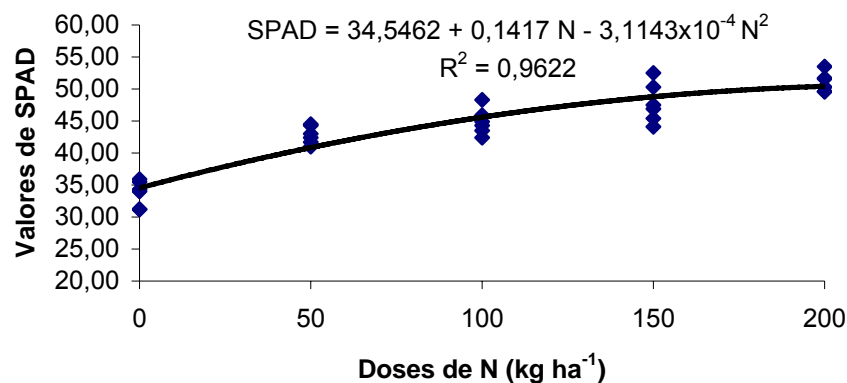


Figura 12. Valores de SPAD em função das doses de N aplicadas em *Brachiaria decumbens* aos 21 dias após a adubação (DAA) na primeira fase do sistema de sensoriamento remoto com haste.

Esta tendência de redução dos incrementos nos teores de N estimado pelo SPAD em altas doses de N também foi verificada por outros autores (SCHEPERS et al., 1992; SCHRODER et al., 2000; LAVRES JUNIOR, 2001). Isto pode indicar que a cultura já estava atingindo o ponto de produção máxima, entrando na região de adequação, com reflexos nos valores de SPAD e do índice GNDVI_{mono}, pois, segundo Schepers et al. (1998), quando a disponibilidade de N se aproxima do nível crítico, o teor de clorofila tende a se estabilizar.

Para a variável N foliar foi possível ajustar uma equação de primeiro grau em relação à dose de N aplicada (Figura 13).

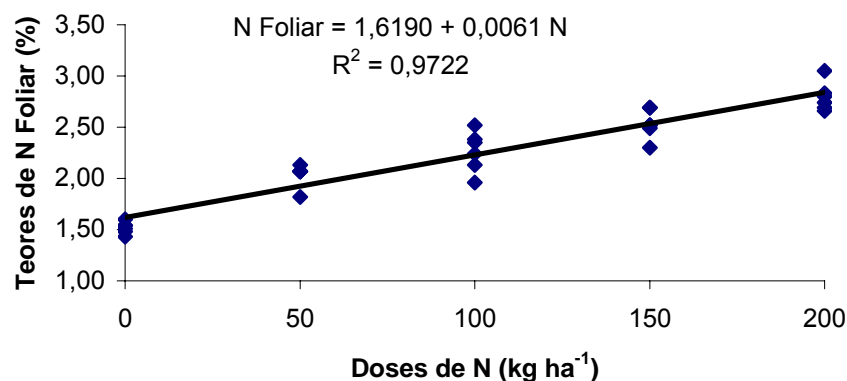


Figura 13. Teores de N foliar em função das doses de N aplicadas em *Brachiaria decumbens* aos 21 dias após adubação (DAA) na primeira fase do sistema de sensoriamento remoto com haste.

Com relação à matéria seca (MS) produzida (Figura 14) os valores desta variável em toneladas por hectare em função de doses de N aos 32 DAA, observa-se que para cada 50 kg de N aplicado a produção de MS aumenta aproximadamente 1 tonelada.

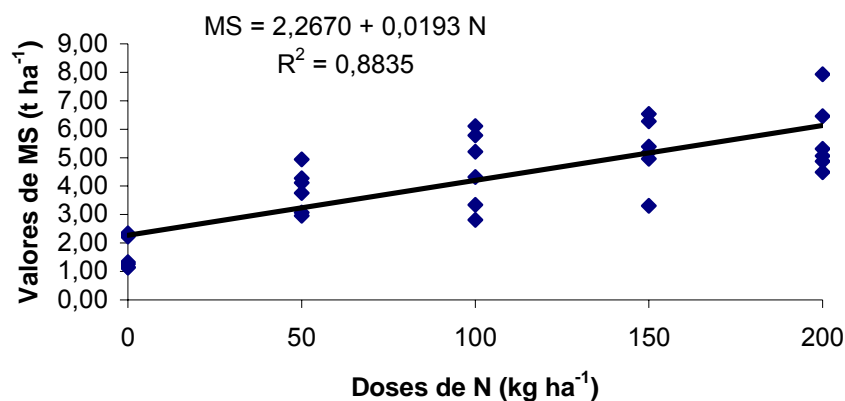


Figura 14. Produção de matéria seca de *Brachiaria decumbens* em função das doses de N aplicadas aos 32 dias após adubação (DAA) na primeira fase do sistema de sensoriamento remoto com haste.

Cunha (2004) encontrou valores de produtividade de matéria seca no capim-Tanzânia entre 700 e 4.300 kg ha⁻¹, para a variação de 0 a 2.079 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, respectivamente, sendo esta relação obtida por uma equação polinomial quadrática. O autor verificou também que o uso de doses superiores a 756 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N não proporcionaram efeitos positivos sobre a produção de matéria seca.

Ao contrário do verificado por Cunha (2004) não foi encontrada região de adequação no gráfico da Figura 14, que de acordo com Martinez et al. (1999), é a região onde o aumento do suprimento do nutriente e seu teor nos tecidos não são acompanhados por um aumento proporcional no crescimento ou produção.

4.1.2. Segunda fase experimental

Nas Tabelas 4 e 5 estão os resultados dos testes F para falta de ajustamento e para regressão e também os modelos de primeiro ou segundo grau que foram ajustados, respectivamente, em todos os períodos de aquisição desta fase experimental. As variáveis NDVI_{color}, GNDVI_{color}, SAVI_{color}, NDVI_{mono},

GNDVI_{mono}, SAVI_{mono}, SPAD e N foliar foram avaliadas aos 28, 36, 45 e 53 dias após adubação (DAA), enquanto a variável MS somente aos 53 DAA.

Observa-se nesta fase experimental que os dados de todas as variáveis dependentes em todos os períodos de avaliações apresentaram modelos ajustados ao primeiro e segundo grau, indicando que houve uma maior eficiência de detecção dos diferentes status nutricionais, causados pelo efeito da adubação nitrogenada.

TABELA 4. Significância dos modelos lineares para falta de ajustamento, ao nível de 1%, no sistema de sensoriamento remoto com haste aos 28, 36, 45 e 53 dias após adubação (DAA) da *Brachiaria decumbens*

Variáveis				
Dependentes	28 DAA	36 DAA	45 DAA	53 DAA
NDVI _{color}	2º Grau**	2º Grau**	2º Grau**	2º Grau**
GNDVI _{color}	2º Grau**	2º Grau**	2º Grau**	2º Grau**
SAVI _{color}	2º Grau**	2º Grau**	2º Grau**	2º Grau**
NDVI _{mono}	2º Grau**	2º Grau**	2º Grau**	1º Grau**
GNDVI _{mono}	2º Grau**	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**
SAVI _{mono}	2º Grau**	2º Grau**	2º Grau**	1º Grau**
SPAD	2º Grau**	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**
N foliar	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**	2º Grau**
MS				1º Grau**

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; SPAD: variável obtida pelo medidor de clorofila SPAD; N foliar: variável obtida pela análise do teor de N foliar em laboratório; MS: matéria seca produzida em toneladas por hectare; Os subscritos “color” e “mono” especificam que as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida e monocromática, respectivamente; **: teste F significativo para Análise de Variância da Regressão, ao nível de 1% de probabilidade; Os campos em branco indicam que a variável não foi avaliada no período.

TABELA 5. Modelos ajustados aos dados para cada variável dependente e coeficientes de determinação (R^2) aos 28, 36, 45 e 53 dias após adubação (DAA) no sistema de sensoriamento remoto com haste

Modelos ajustados	R^2
28 DAA	
$NDVI_{color} = 0,1450 + 0,0027 N - 8,9924 \times 10^{-6} N^2$	0,9447
$GNDVI_{color} = 0,0695 + 0,0026 N - 8,6619 \times 10^{-6} N^2$	0,9498
$SAVI_{color} = 0,2168 + 0,0040 N - 1,3460 \times 10^{-5} N^2$	0,9447
$NDVI_{mono} = 0,3678 + 0,0038 N - 1,4528 \times 10^{-5} N^2$	0,9767
$GNDVI_{mono} = -0,1306 + 0,0030 N - 1,0719 \times 10^{-5} N^2$	0,9587
$SAVI_{mono} = 0,5498 + 0,0057 N - 2,1726 \times 10^{-5} N^2$	0,9767
$SPAD = 33,5676 + 0,1764 N - 4,7381 \times 10^{-4} N^2$	0,9879
$N \text{ foliar} = 1,6993 + 0,0068 N$	0,9507
36 DAA	
$NDVI_{color} = 0,1940 + 0,0029 N - 9,7267 \times 10^{-6} N^2$	0,9271
$GNDVI_{color} = 0,1154 + 0,0029 N - 9,2648 \times 10^{-6} N^2$	0,9387
$SAVI_{color} = 0,2899 + 0,0044 N - 1,4550 \times 10^{-5} N^2$	0,9270
$NDVI_{mono} = 0,7162 + 0,0025 N - 8,2781 \times 10^{-6} N^2$	0,9712
$GNDVI_{mono} = 0,3255 + 8,0540 \times 10^{-4} N$	0,7623
$SAVI_{mono} = 1,0694 + 0,0037 N - 1,2438 \times 10^{-5} N^2$	0,9710
$SPAD = 35,3533 + 0,0828 N$	0,9638
$N \text{ foliar} = 1,6023 + 0,0059 N$	0,9863
45 DAA	
$NDVI_{color} = 0,1697 + 0,0032 N - 1,0800 \times 10^{-5} N^2$	0,9278
$GNDVI_{color} = 0,0905 + 0,0032 N - 1,0170 \times 10^{-5} N^2$	0,9421
$SAVI_{color} = 0,2532 + 0,0048 N - 1,6152 \times 10^{-5} N^2$	0,9276
$NDVI_{mono} = 0,4459 + 0,0034 N - 1,0536 \times 10^{-5} N^2$	0,9366
$GNDVI_{mono} = 0,2789 + 0,0010 N$	0,8177
$SAVI_{mono} = 0,6648 + 0,0052 N - 1,5751 \times 10^{-5} N^2$	0,9366
$SPAD = 33,4600 + 0,0791 N$	0,9915
$N \text{ foliar} = 1,4540 + 0,0053 N$	0,9727
53 DAA	
$NDVI_{color} = 0,0732 + 0,0026 N - 7,7805 \times 10^{-6} N^2$	0,9290
$GNDVI_{color} = 0,0050 + 0,0025 N - 7,1014 \times 10^{-6} N^2$	0,9399
$SAVI_{color} = 0,1092 + 0,0038 N - 1,1630 \times 10^{-5} N^2$	0,9289
$NDVI_{mono} = 0,5914 + 0,0014 N$	0,8249
$GNDVI_{mono} = 0,2634 + 9,8700 \times 10^{-4} N$	0,9391
$SAVI_{mono} = 0,8798 + 0,0020 N$	0,8248
$SPAD = 31,2133 + 0,0678 N$	0,9882
$N \text{ foliar} = 1,4683 - 0,0017 N + 2,6667 \times 10^{-5} N^2$	0,8881
$MS = 1,3612 + 0,0161 N$	0,9682

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; SPAD: variável obtida pelo medidor de clorofila SPAD; N foliar: variável obtida pela análise do teor de N foliar em laboratório; MS: matéria seca produzida em toneladas por hectare; Os subscritos "color" e "mono" especificam que as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida e monocromática, respectivamente; Os coeficientes β_1 e β_2 dos modelos ajustados foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t "student".

Aos 28 e 36 DAA (Tabela 5), entre os índices, os maiores valores de R^2 foram obtidos pelas variáveis $NDVI_{mono}$ e $SAVI_{mono}$ e aos 45 e 53 DAA com $GNDVI_{color}$. Vale ressaltar que o $GNDVI_{mono}$ tendeu a ter os menores valores de R^2 , o que não aconteceu na primeira fase de crescimento das plantas após a adubação.

Na Tabela 6 estão apresentados valores dos coeficientes de correlação entre os índices que obtiveram modelos ajustados e os valores de SPAD e de N foliar aos 28, 36, 45 e 53 DAA. Aos 53 DAA houve a correlação destes índices com a matéria seca produzida.

TABELA 6. Correlações entre os índices de vegetação dos modelos ajustados com SPAD, N foliar e massa seca (MS) aos 28, 36, 45 e 53 dias após adubação (DAA) no sistema de sensoriamento remoto com haste

ÍNDICES [*]	28 DAA		36 DAA		45 DAA		53 DAA		MS
	SPAD	N foliar	SPAD	N foliar	SPAD	N foliar	SPAD	N foliar	
NDVI _{color}	0,7940**	0,7433**	0,7972**	0,6372**	0,7402**	0,6427**	0,7509**	0,5929**	0,7189**
GNDVI _{color}	0,7963**	0,7513**	0,7914**	0,6527**	0,7726**	0,6823**	0,7745**	0,6230**	0,7490**
SAVI _{color} ^c	0,7941**	0,7433**	0,7973**	0,6371**	0,7399**	0,6423**	0,7507**	0,5927**	0,7188**
NDVI _{mono}	0,6619**	0,5700**	0,7534**	0,5817**	0,7559**	0,6511**	0,7019**	0,5629**	0,6784**
GNDVI _{mono}	0,8129**	0,6893**	0,7243**	0,5745**	0,7659**	0,6871**	0,6831**	0,5189**	0,6625**
SAVI _{mono} ^e	0,6621**	0,5700**	0,7542**	0,5819**	0,7559**	0,6513**	0,7029**	0,5632**	0,6790**

** correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade;

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; SPAD: variável obtida pelo medidor de clorofila SPAD; N foliar: análise do teor de N foliar; MS: matéria seca produzida em toneladas por hectare; Os subscritos “color” e “mono” especificam que as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida e monocromática, respectivamente.

Dentre os índices “color” houve tendência de o GNDVI ter os maiores valores de correlação com SPAD, N foliar e a MS em todos os períodos. Já com os índices “mono” não se observou tendência ao longo dos períodos.

Os valores de correlação entre SPAD e N foliar respectivamente aos 28, 36, 45 e 53 DAA foram 0,9079, 0,8684, 0,9077 e 0,8261. Aos 53 DAA o valor de correlação obtido entre SPAD e MS foi de 0,7564 e entre N foliar e MS foi de 0,5866. Todos estes valores de correlações foram significativos ao nível de 1 % de probabilidade pelo teste t. Comparando estes valores de correlação com os obtidos na primeira fase, verificou-se que, em geral os valores tenderam a reduzir mostrando a diminuição das relações entre estas variáveis.

Da mesma forma, comparando, no geral, as correlações entre índices e SPAD, N foliar e MS da primeira fase também é possível verificar que houve uma diminuição nos valores desses coeficientes. Esta menor correlação provavelmente é devida à mudança climática verificada nesta fase, que propiciou menor resposta das plantas à adubação nitrogenada, dificultando o discernimento entre os tratamentos.

Os valores dos coeficientes de correlação entre os índices “color” e SPAD, N foliar e MS, em geral, foram superiores aos índices “mono”. Isto mostra que nesta fase a utilização dos filtros limitantes às faixas dos espectros de reflectância não se sobressaíram na formação dos índices para a análise de tendência de relacionamento destes com os status nutricionais estimados e determinados nas folhas. Este fato também pode estar relacionado novamente à mudança climática observada nesta fase, ou seja, a diminuição de luminosidade e da temperatura interferiu também na resposta espectral dos tratamentos favorecendo a faixa do espectro que sensibilizou o sensor da câmera colorida.

O maior valor de correlação encontrado nesta fase foi 0,8129, entre o $GNDVI_{mono}$ e SPAD aos 28 DAA, entretanto em geral, as maiores correlações foram encontradas pelo $GNDVI_{color}$. Fato este que continua demonstrando a maior sensibilidade do uso da banda verde em relacionar com os valores nutricionais obtidos pontualmente nas folhas e na detecção dos diferentes níveis nutricionais, do que o uso da banda vermelha.

O índice mais indicado nesta fase para detectar os diferentes status nutricionais na braquiária é o $GNDVI_{color}$, além disso este índice apresentou

maior correlação com a MS, o que pode ser um possível preditor de produtividade.

Na Figura 15 estão os valores do índice $GNDVI_{color}$ em função das doses de N aos 45 DAA, o valor máximo do índice foi encontrado na dose 157,34 kg ha^{-1} de N de acordo com a derivada do modelo. Este comportamento foi demonstrado pelos modelos de segundo grau ajustados na maioria dos índices nesta fase.

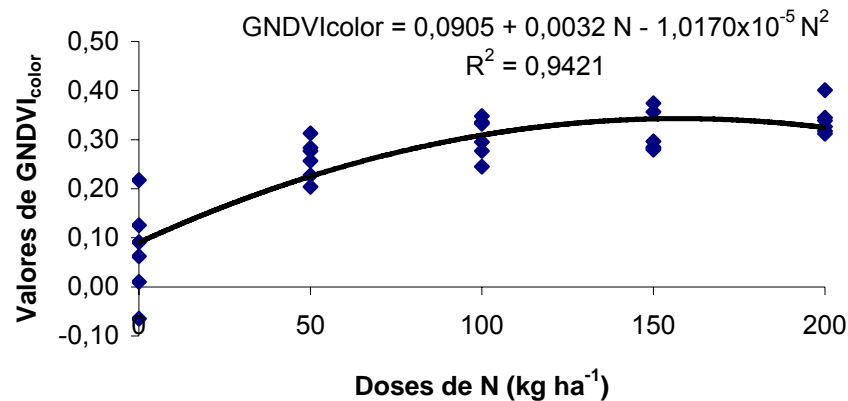


Figura 15. Valores de $GNDVI_{color}$ em função das doses de N aplicadas em *Brachiaria decumbens* aos 45 dias após adubação (DAA) na segunda fase do sistema de sensoriamento remoto com haste.

Foi observado também um declínio nos valores dos índices, independentemente do par de câmeras utilizado, da fase anterior para esta. O mesmo foi observado por Cunha (2004), que ao estudar o comportamento espectral no capim-Tanzânia verificou que houve uma diminuição dos valores do índice NDVI entre períodos. O autor citou que este fato poderia estar relacionado às diferentes condições ambientais presentes como menor radiação solar incidente e menores temperaturas, ocasionando menor produção de fitomassa e conseqüentemente baixos valores da reflectância no infravermelho próximo.

Os valores de SPAD e de N foliar ajustaram a modelos lineares positivos em função das doses de N (Figuras 16 e 17).

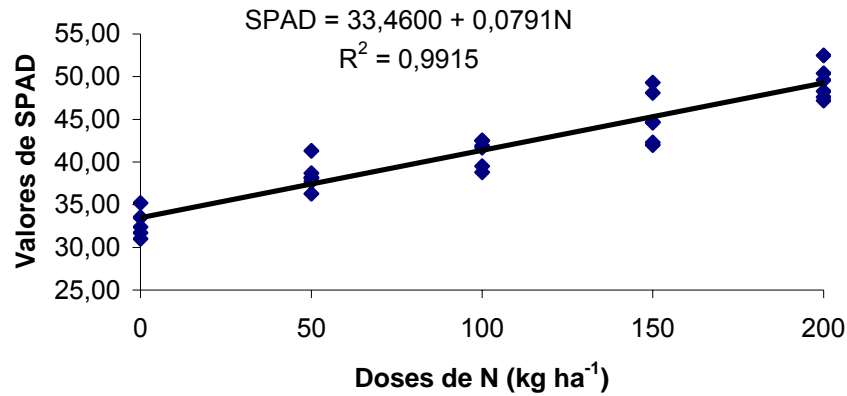


Figura 16. Valores de SPAD em função das doses de N aplicadas em *Brachiaria decumbens* aos 45 dias após adubação (DAA) na segunda fase do sistema de sensoriamento remoto com haste.

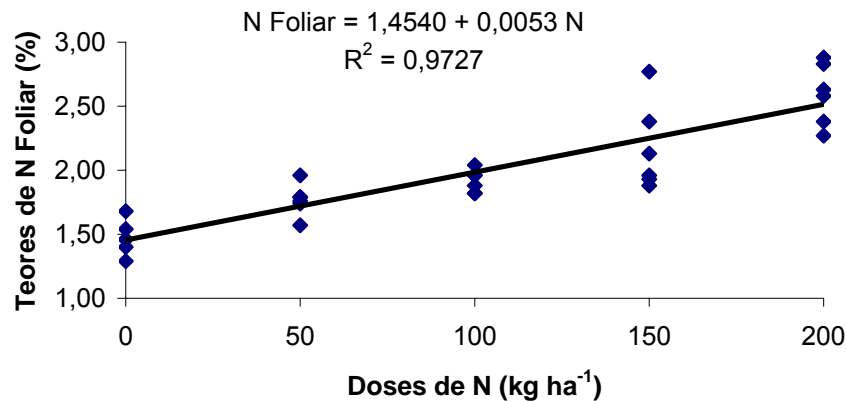


Figura 17. Teores de N foliar em função das doses de N aplicadas em *Brachiaria decumbens* aos 45 dias após adubação (DAA) na segunda fase do sistema de sensoriamento remoto com haste.

Esta resposta linear positiva também foi observada por Sena Junior (2005) para os valores de SPAD, que representam a clorofila foliar. O mesmo autor em um experimento com diferentes doses de N em trigo cultivado em vasos, verificou também que houve um aumento linear nos valores de SPAD e de N foliar até a maior dose aplicada (120 kg ha⁻¹ de N). Isto indica que não se atingiu o ponto de estabilização nos teores de clorofila e que o N pode estar sendo acumulado nas folhas em outras formas.

Também os dados de produção de MS aos 53 DAA se ajustaram a modelos lineares positivos em função das doses de N (Figura 18).

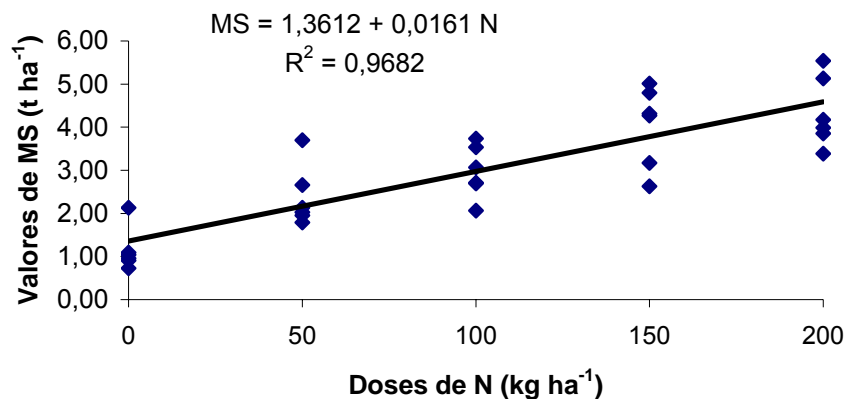


Figura 18. Produção de matéria seca de *Brachiaria decumbens* em função das doses de N aplicadas aos 53 dias após adubação (DAA) na segunda fase do sistema de sensoriamento remoto com haste.

Observa-se (Figura 18), um aumento de cerca de 0,8 tonelada por hectare de massa seca para cada 50 kg ha⁻¹ de N aplicados. Este aumento foi menor do que o encontrado na fase anterior. Isto já era esperado, visto que nesta segunda fase ocorreram mudanças climáticas desfavoráveis ao desenvolvimento da forrageira.

Cunha (2004), em experimento conduzido em uma área cultivada com capim-Tanzânia, observou que independente das lâminas de irrigação e das doses de nitrogênio aplicadas a produtividade de matéria seca foi menor no período seco e maior no período úmido, concluindo que fatores climáticos como a radiação solar e a temperatura influenciaram nos resultados. Este período considerado como seco é identificado pela diminuição da radiação solar e da temperatura. Foram encontrados os menores valores de produção de matéria seca (MS) do capim-Tanzânia em todas as doses de N utilizadas, com os valores variando de 200 a 1.000 kg h⁻¹ entre as doses mínima e máxima de 0 a 2.079 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, respectivamente.

4.2. Sistema de sensoriamento remoto utilizando Balão

Neste sistema procurou-se avaliar a influência da altura das câmeras na eficiência dos índices em discriminar os diferentes status nutricionais formados pelas diferentes doses de N aplicadas.

4.2.1. Primeira fase: aos 28 dias após adubação (DAA)

Na Tabela 7 estão apresentados todos os índices calculados neste sistema de sensoriamento remoto, com seus respectivos resultados dos testes F para falta de ajustamento e regressão, para cada altura de coleta dos dados efetuado nesta fase.

TABELA 7. Significância dos modelos lineares para falta de ajustamento, ao nível de 1%, no sistema de sensoriamento remoto com balão aos 28 dias após adubação (DAA) da *Brachiaria decumbens* nas alturas de 15, 20, 25 e 30 m

Variáveis	Altura (m)			
	15	20	25	30
Dependentes				
NDVI _{color}	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**	2º Grau**
GNDVI _{color}	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**	2º Grau**
SAVI _{color}	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**	2º Grau**

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; Os subscritos “color” especificam que as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida; **: teste F significativo para Análise de Variância da Regressão, ao nível de 1% de probabilidade.

Observa-se (Tabela 7) que na altura de 30 m todos os índices se ajustaram a modelos lineares de segundo grau. Já a 25, 20 e 15 m todos os índices se ajustaram a modelos lineares de primeiro grau.

Neste contexto, de resposta diferenciada na maior altura testada é importante ressaltar que todos os índices “color” em todas as alturas testadas nesta fase apresentaram modelos ajustados aos dados devido à influência dos efeitos das doses de N. Isto indica que o fator altura não foi limitante na detecção dos diferentes status nutricionais nesta forrageira.

Os modelos dos índices que foram ajustados com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) nas quatro alturas testadas, 15, 20, 25 e 30 m, nesta fase deste sistema, estão apresentados na Tabela 8.

TABELA 8. Modelos ajustados aos dados para cada variável dependente e coeficiente de determinação (R^2) aos 28 dias após adubação (DAA) no sistema de sensoriamento remoto com balão na primeira fase experimental nas alturas de 15, 20, 25 e 30 m

Modelos ajustados	R^2
15 m	
$NDVI_{color} = 0,2545 + 0,0012 N$	0,9330
$GNDVI_{color} = 0,1305 + 0,0014 N$	0,9446
$SAVI_{color} = 0,3795 + 0,0018 N$	0,9320
20 m	
$NDVI_{color} = 0,2839 + 9,1013 \times 10^{-4} N$	0,8242
$GNDVI_{color} = 0,1627 + 0,0011 N$	0,8709
$SAVI_{color} = 0,4234 + 0,0014 N$	0,8228
25 m	
$NDVI_{color} = 0,2548 + 0,0011 N$	0,9017
$GNDVI_{color} = 0,1365 + 0,0013 N$	0,9220
$SAVI_{color} = 0,3803 + 0,0016 N$	0,9007
30 m	
$NDVI_{color} = 0,2310 + 0,0022 N - 6,5238 \times 10^{-6} N^2$	0,9851
$GNDVI_{color} = 0,1138 + 0,0025 N - 6,6242 \times 10^{-6} N^2$	0,9883
$SAVI_{color} = 0,3447 + 0,0034 N - 9,7471 \times 10^{-6} N^2$	0,9850

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; O subscrito "color" especifica que as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida; Os coeficientes β_1 e β_2 dos modelos ajustados foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t "student".

Analisando as alturas (Tabela 8) observa-se que o maior valor de R^2 ocorreu com o $GNDVI_{color}$ aos 30 m de altura.

Para auxiliar na escolha do índice que teria os melhores resultados na detecção dos diferentes status nutricionais e ainda a altura mais indicada para efetuar a coleta das imagens foi realizada a correlação dos valores dos índices em relação ao SPAD e ao N foliar coletados aos 32 DAA, que foi bem próximo ao período de aquisição das imagens. Assim na Tabela 9 estão os coeficientes de correlação.

TABELA 9. Correlações entre os índices de vegetação obtidos pelo sistema de sensoriamento remoto com balão a 15, 20, 25 e 30 m de altura aos 28 dias após adubação (DAA) e os valores de SPAD, de N foliar e a matéria seca produzida (MS) aos 32 DAA

ÍNDICES	SPAD	N foliar	MS (t ha ⁻¹)
15 m			
NDVI _{color}	0,7814**	0,6453**	0,6526**
GNDVI _{color}	0,8055**	0,6624**	0,6605**
SAVI _{color}	0,7823**	0,6457**	0,6530**
20 m			
NDVI _{color}	0,7835**	0,6274**	0,6618**
GNDVI _{color}	0,8264**	0,6642**	0,6955**
SAVI _{color}	0,7831**	0,6267**	0,6622**
25 m			
NDVI _{color}	0,8780**	0,6934**	0,7665**
GNDVI _{color}	0,9013**	0,7127**	0,7769**
SAVI _{color}	0,8778**	0,6930**	0,7672**
30 m			
NDVI _{color}	0,8952**	0,7141**	0,7561**
GNDVI _{color}	0,9168**	0,7282**	0,7621**
SAVI _{color}	0,8951**	0,7139**	0,7562**

** correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; SPAD: variável obtida pelo medidor de clorofila SPAD; N foliar: análise do teor de N foliar; MS: matéria seca produzida em toneladas por hectare; Os subscritos “color” especificam que a bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida.

Analisando os coeficientes das correlações entre os índices “color” e SPAD, N foliar e MS é possível ver que o índice GNDVI_{color} tendeu a ter os maiores valores em todas as alturas e com todas as variáveis, destacando-se na altura de 30 m. Uma possível explicação para este fato pode ser que com uma maior distância do alvo as pequenas diferenças não são identificáveis e o dossel é visto com mais uniformidade e com menor influência anisotrópica. Um resultado que pode justificar essa explicação é o fato do GNDVI_{color}, NDVI_{color} e SAVI_{color} obtidos aos 32 DAA na primeira fase experimental do sistema com haste a três metros de altura terem valores de correlação com SPAD, N foliar e MS bem inferiores aos respectivos índices “color” obtidos aos 28 DAA também na primeira fase pelo sistema do balão a 30 m de altura. Apesar da diferença de quatro dias acredita-se que o número de folhas juntamente com o teor nutricional não sofreram grandes alterações.

Outro motivo que merece ser levado em consideração é o fato do horário da aquisição das imagens, visto que houve atraso neste período de avaliação, e como se iniciou a aquisição na altura de 30 m, esta altura pode ter sido favorecida pelo ângulo zenital solar.

É possível observar também que todos os valores de correlações nas alturas 30 e 25 m foram bem próximos, com diferença de cerca de 2% entre os valores dos mesmos índices, enquanto nas alturas de 20 e 15 m a diferença máxima foi de aproximadamente 3%. Entretanto a diferença entre o primeiro par de altura e o segundo foi por volta de 10 a 13%, mostrando que há uma diferença significativa entre estes dois pares de alturas, com os maiores resultados atribuídos as maiores alturas.

Uma vez constatado que o $GNDVI_{color}$ foi o índice que apresentou as maiores correlações, fica evidenciada a importância do uso da banda verde para identificar efeitos de variação no status nutricional com a estimativa de clorofila e teor de N foliar. Isto permite concluir que o $GNDVI_{color}$ é o índice mais indicado para detectar os diferentes status nutricionais da *Brachiaria decumbens* neste período além de poder inferir que a altura mais indicada é de 30 m.

Nas Figuras 19 e 20 estão os valores do índice $GNDVI_{color}$ em função das doses de N nas alturas 30 e 25 m, respectivamente, que representaram os dois tipos de comportamento dos dados encontrados nesta fase deste sistema de sensoriamento remoto.

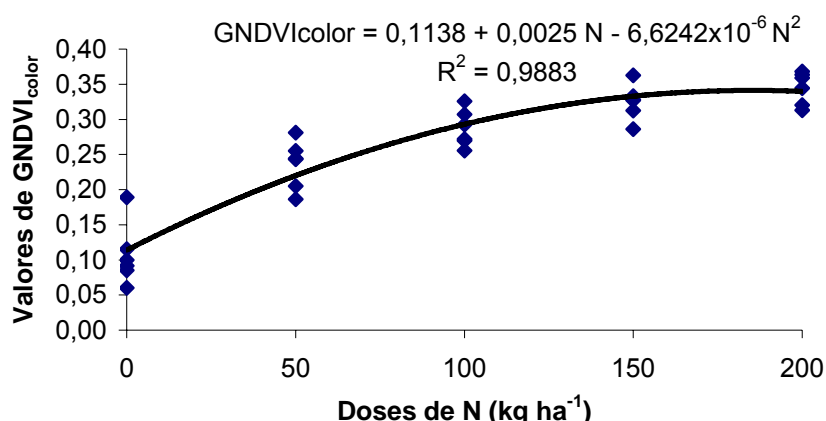


Figura 19. Valores de $GNDVI_{color}$ em função das doses de N aplicadas em *Brachiaria decumbens* aos 28 dias após adubação (DAA) a 30 m de altura na primeira fase do sistema de sensoriamento remoto com balão.

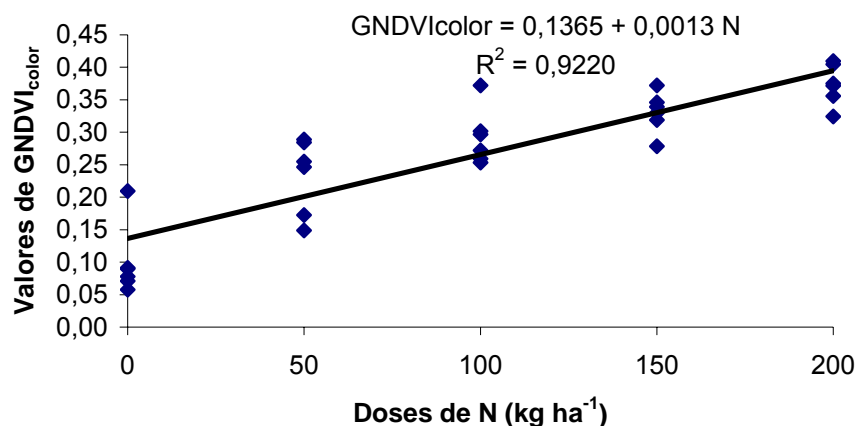


Figura 20. Valores de GNDVI_{color} em função das doses de N aplicadas em *Brachiaria decumbens* aos 28 dias após adubação (DAA) a 25 m de altura na primeira fase do sistema de sensoriamento remoto com balão.

É possível observar que os valores do índice GNDVI_{color} estabiliza a partir da dose 188,70 kg ha⁻¹ de N estimada pela derivada do modelo da variável (Figura 19).

Já a 15 e 20 m a relação entre o índice GNDVI_{color} e as doses de N também é linear crescente.

4.2.2. Segunda fase: aos 51 dias após adubação (DAA)

Na Tabela 10 estão apresentados os resultados dos testes F para falta de ajustamento dos dados e para a análise de variância da regressão para todos os índices calculados nesta fase deste sistema de sensoriamento remoto em todas as alturas testadas.

TABELA 10. Significância dos modelos lineares para falta de ajustamento, ao nível de 1%, no sistema de sensoriamento remoto com balão aos 51 dias após adubação (DAA) da *Brachiaria decumbens* nas alturas de 15, 20, 25 e 30 m

Variáveis	Altura (m)			
	15	20	25	30
Dependentes				
NDVI _{color}	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**
GNDVI _{color}	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**
SAVI _{color}	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**	1º Grau**

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; Os subscritos "color" especificam que as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida; **: teste F significativo para Análise de Variância da Regressão, ao nível de 1% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 10 que os dados relativos aos três índices calculados neste sistema ajustaram ao modelo linear de primeiro grau em todas as alturas, mostrando que neste período todos os índices foram capazes de detectar os diferentes status nutricionais proporcionados pela adubação nitrogenada.

Na Tabela 11 observa-se que todos os índices GNDVI_{color} apresentaram o coeficiente β_0 negativo, indicando que na ausência de aplicação de N os valores deste índice obtidos nas equações ajustadas, nas quatro alturas testadas, são negativos. Isto sugere que em média os valores digitais da banda verde foram maiores que os da banda do infravermelho neste tratamento. Como este fato foi constatado no tratamento ausência de adubação e em um período de condições climáticas não favoráveis ao desenvolvimento da planta, a cobertura foliar por área da parcela era baixo, levando à diminuição da reflectância na faixa do infravermelho fazendo com que a faixa do verde se sobressaísse.

TABELA 11. Modelos ajustados aos dados para cada variável dependente e coeficiente de determinação (R^2) aos 53 dias após adubação (DAA) no sistema de sensoriamento remoto com balão na segunda fase experimental nas alturas de 15, 20, 25 e 30 m

Modelos ajustados	R^2
15 m	
NDVI _{color} = 0,0343 + 0,0012 N	0,9063
GNDVI _{color} = -0,0510 + 0,0013 N	0,9444
SAVI _{color} = 0,0512 + 0,0019 N	0,9064
20 m	
NDVI _{color} = 0,0060 + 0,0013 N	0,9125
GNDVI _{color} = -0,0773 + 0,0012 N	0,9489
SAVI _{color} = 0,0090 + 0,0019 N	0,9125
25 m	
NDVI _{color} = 0,0207 + 0,0013 N	0,8574
GNDVI _{color} = -0,0617 + 0,0012 N	0,8981
SAVI _{color} = 0,0309 + 0,0019 N	0,8572
30 m	
NDVI _{color} = 0,0374 + 0,0011 N	0,8681
GNDVI _{color} = -0,0441 + 0,0011 N	0,9008
SAVI _{color} = 0,0559 + 0,0017 N	0,8679

NDVI: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI: índice de vegetação de ajuste de solo; O subscrito “color” especifica que as bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida; Os coeficientes β_1 e β_2 dos modelos ajustados foram significativos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste t “student”.

Correlacionaram-se os valores dos índices “color”, obtidos aos 51 DAA, com os valores de SPAD, de N foliar e da matéria seca (MS) produzida aos 53 DAA no sistema de sensoriamento remoto com haste (Tabela 12). A coleta das imagens com o balão nesta fase foi dois dias antes do período de aquisição dos valores de SPAD, N foliar e MS e mesmo com a mudança climática observada nesta fase ainda se obteve bons resultados de correlação.

TABELA 12. Correlações entre os índices de vegetação obtidos pelo sistema de sensoriamento remoto com balão a 15, 20, 25 e 30 m de altura aos 51 dias após adubação (DAA) e os valores de SPAD, de N foliar e a matéria seca (MS) produzida aos 53 DAA

ÍNDICES	SPAD	N foliar	MS (t ha ⁻¹)
15 m			
NDVI _{color}	0,7784**	0,6476**	0,6791**
GNDVI _{color}	0,7924**	0,6696**	0,6947**
SAVI _{color}	0,7785**	0,6477**	0,6794**
20 m			
NDVI _{color}	0,7944**	0,6115**	0,6922**
GNDVI _{color}	0,8010**	0,6215**	0,7024**
SAVI _{color}	0,7945**	0,6116**	0,6924**
25 m			
NDVI _{color}	0,7662**	0,5870**	0,6855**
GNDVI _{color}	0,7814**	0,6036**	0,7063**
SAVI _{color}	0,7662**	0,5869**	0,6857**
30 m			
NDVI _{color}	0,7798**	0,6143**	0,7249**
GNDVI _{color}	0,7899**	0,6270**	0,7410**
SAVI _{color}	0,7797**	0,6141**	0,7249**

** correlação significativa ao nível de 1% de probabilidade

NDVI_{color}: índice de vegetação da diferença normalizado; GNDVI_{color}: índice de vegetação da diferença de verde normalizado; SAVI_{color}: índice de vegetação de ajuste de solo; SPAD: variável obtida pelo medidor de clorofila SPAD; N foliar: variável obtida pela análise do teor de N foliar em laboratório; MS: matéria seca produzida em toneladas por hectare; O subscrito "color" especifica que a bandas R e G utilizadas no cálculo dos índices foram provenientes da câmera colorida.

Observa-se (Tabela 12) menores variações entre os valores dos coeficientes de correlação entre as alturas relativas às avaliações aos 28 dias após adubação na fase anterior neste mesmo sistema de SR. Quanto aos índices em relação ao SPAD os maiores valores foram obtidos aos 20 m de altura, já entre o N foliar foram encontrados aos 15 m e por último entre a MS os maiores valores foram aos 30 m de altura.

Os valores das correlações encontrados pelos índices "color" aos 53 DAA no sistema com haste a três metros de altura tenderam a ser inferiores aos valores obtidos nas alturas testadas por esse sistema com balão. Isto mostra que houve um ganho com o aumento da altura e que pode ser atribuído a maior uniformidade do dossel quando se distancia do alvo, apesar de os valores das correlações dos 15 aos 30 m serem próximos e com a não tendência de aumentar com o incremento da altura.

Ao analisar cada altura separadamente observa-se que o $GNDVI_{color}$ foi o índice com tendência de maiores coeficientes de correlação com as variáveis SPAD, N foliar e MS, apesar da proximidade dos seus valores com os obtidos pelos índice $NDVI_{color}$ e $SAVI_{color}$, sendo considerado novamente o índice mais indicado para detectar variações no status nutricional em *Brachiaria decumbens*.

Os valores das correlações desta fase experimental (51 DAA) foram inferiores aos da fase anterior (28 DAA), mesmo tendo menor período entre a coleta das imagens e a coleta de SPAD, N foliar e MS e, por conseguinte menor possibilidade de alteração do número de folhas e do teor de N foliar. Sendo mais um indício que a mudança climática verificada nesta fase foi um fator de interferência nos resultados das correlações.

A Figura 21 ilustra os valores dos índices $GNDVI_{color}$ na altura de 20 m numa relação linear positiva com as doses de N aplicadas que também foi observada para os demais índices desta fase. Mesmo com a mudança climática não favorável observada nesta fase experimental (Apêndices P, Q, R, S, T), onde o dia já estava mais curto e a temperatura mais baixa, ocasionando uma menor resposta da planta à adubação, os índices foram capazes de expressar os diferentes efeitos das doses de N aplicadas em todas as alturas.

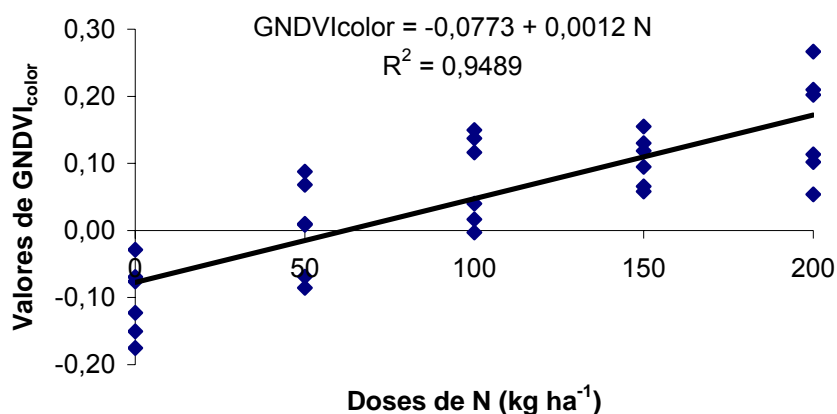


Figura 21. Valores de $GNDVI_{color}$ em função das doses de N aplicadas em *Brachiaria decumbens* aos 51 dias após adubação (DAA) a 20 m de altura na segunda fase do sistema de sensoriamento remoto com balão.

5. CONCLUSÕES

- Os dois sistemas de sensoriamento remoto com haste a três metros de altura e com balão a gás hélio a diferentes alturas geraram índices de vegetação capazes de detectar variação no status nutricional em *Brachiaria decumbens*.
- Os índices “color”, formados pelo par de câmeras monocromática com filtro NIR e colorida detectaram diferentes status nutricionais na forrageira em todos os períodos de coleta de imagens.
- O índice $GNDVI_{mono}$, na primeira fase de avaliação do experimento e o índice $GNDVI_{color}$, na segunda fase, ambos do sistema de sensoriamento remoto com haste, em geral, foram os índices que melhor se correlacionaram com SPAD e N foliar ao longo de todos os períodos de coleta e também com a MS no último período de coleta de cada fase.
- No sistema de sensoriamento remoto com balão, na primeira e segunda fase do experimento, o $GNDVI_{color}$ foi o índice que melhor se correlacionou com SPAD, N foliar e MS nas quatro alturas testadas.
- A altura de 30 m no sistema de sensoriamento remoto com balão se sobressaiu com as maiores correlações entre os índices “color” e SPAD, N foliar e MS na primeira fase experimental.
- O uso da banda verde no índice de vegetação da diferença normalizada se mostrou mais eficiente na relação com a estimativa nutricional foliar, com o teor de N foliar e com a produtividade de matéria seca do que o uso da banda vermelha.
- O uso dos filtros ópticos proporcionou os melhores resultados de correlações na primeira fase experimental pelo sistema de sensoriamento remoto com haste.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALONÇO, A. dos S.; MEDEIROS, F. A.; PEREIRA, R. S.; ROMANO, L. N.; BALESTRA, M. R. G. Veículo aéreo não tripulado (Vant): uma opção para a agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Canoas. **Resumos...** Rio Grande do Sul: ULBRA, 2005. CD-ROM.

APARÍCIO, N.; VILLEGAS, D.; ARAUS, J. L.; CASADESUS, J.; ROYO, C. Relationship between growth traits and spectral vegetation indices in durum wheat. **Crop Science**, v. 42, p. 1547–1555, 2002.

BALAN, A. G. R. **Técnicas de segmentação de imagens aéreas para contagem de população de aves**. 2003. 87 f. Dissertação (Mestrado em Ciências, na área de Ciências de Computação e Matemática Computacional) – ICMC-USP, São Carlos, 2003.

BARNES, E. M.; MORAN, M. S.; PINTER, P. J.; CLARKE, T. R. **Multispectral remote sensing and site-specific agriculture: examples of current technology and future possibilities**. In: Proceedings of the 3rd International Conference in Precision Agriculture, 1996, Minneapolis. p. 847-854.

BELLA, C. D.; FAIVRE, R.; RUGET, F.; SEGUIN, B.; GUÉRIF, M.; COMBAL, B.; WEISS, M.; REBELLA, C. Remote sensing capabilities to estimate pasture production in France. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 23, p. 5359-5372, 2004.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S.; VARVEL, G. E.; MEYER, G. E. Analysis of aerial photography for nitrogen stress within corn fields. **Agronomy Journal**, v. 88, p. 729-733, 1996.

BRAGA, G. J. **Assimilação de carbono, acúmulo de forragem e eficiência de pastejo em pastagens de capim-marandu [*Brachiaria brizantha* (Hochst ex A. RICH.) STAPF.] em resposta à oferta de forragem**. 2004. 110 f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – ESALQ, Piracicaba, 2004.

CANTARUTTI, R. B.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, M. M.; FONSECA, D. M.; ARRUDA, M. L.; VILELA, H.; OLIVEIRA, F. T. T. Pastagens. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**, Viçosa, MG, p. 332-341, 1999.

CARVALHO, M. A. C.; FURLANI JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M. E.; PAULINO, H. B.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 445-450, 2003.

CMA (Consultoria, Métodos, Assessoria e Mercantil S/A), 2005. In: Resumo das notícias que foram destaque entre os dias 12 a 16 de dezembro de 2005. Disponível em: <http://www.cma.com.br/infobusiness/agencia_safras.htm#3>. Acesso em : 03 jul 2006.

COELHO, A. M. Potencial de utilização das técnicas de agricultura de precisão na recuperação da fertilidade dos solos sob pastagens degradadas. **Circular Técnica**, Sete Lagoas, n. 68, p. 8, 2005.

COSTA, C.; DWYER, L. M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D. W.; MA, B. L.; SMITH, D. L. Inter-relationships of applied nitrogen, spad, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p.1173-1194, 2001.

CUNHA, C. A. H. **Relação entre comportamento espectral, índice de área foliar e produção de matéria seca em capim Tanzânia submetido a diferentes níveis de irrigação e doses de nitrogênio**. 2004. 154 f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – ESALQ, Piracicaba, 2004.

DIKER, K.; BAUSCH, W. C. Potencial of use of nitrogen reflectance index to estimate plant parameters and yield of maize. **Biosystem Engineering**, v. 84, n. 4, p. 437-447, 2003.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), 2004. Disponível em: <http://www.embrapa.br/linhas_de_acao/alimentos/prod_animal/index_html/mostra_documento>. Acesso em: 03 jul 2006.

GARCEZ NETO, A. F.; NASCIMENTO JUNIOR, D.; REGAZZI, A. J.; FONSECA, D. M.; MOSQUIM, P. R.; GOBBI, K. F. Respostas morfogênicas e estruturais de *Panicum maximum* cv. mombaça sob diferentes níveis de adubação nitrogenada e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 5, p. 1890-1900, 2002.

GITELSON, A. A. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. **Journal of Plant Physiology**, v. 161, n. 2, p. 165-173, 2004.

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing Environment**, v. 58, n. 3, p. 289-298, 1996.

GOEL, P. K.; PRASHER S. O.; LANDRY, J. A.; PATEL, R. M.; BONNELL, R. B.; VIAU, A. A.; MILLER, J. R. Potential of airborne hyperspectral remote sensing to detect nitrogen deficiency and weed infestation in corn. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 38, n. 2, p. 99-124, 2003.

GOPALAPILLAI, S.; TIAN, L.; BEAL, J. **Detection of nitrogen stress in corn using digital aerial imaging**. ASAE Annual International Meeting, Paper No. 983030, 1998.

GUIMARÃES, T. G.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G.; ALVAREZ V. H.; MONNERAT, P. H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; TREMBLAY, N.; ZARCO-TEJADA, P. J.; DEXTRAZE, L. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 416– 426, 2002.

HILL, M. J.; DONALD, G. E.; HYDER, M. W.; SMITH, R. C. G. Estimation of pasture growth rate in the south west of Western Australia from AVHRR NDVI and climate data. **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 4, p. 528-545, 2004.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing Environ**, v. 25, p. 295-309, 1988.

HUSSAIN, F.; BRONSON, K. F.; YADVINDER-SINGH, B. S.; PENG, S. Use of Chlorophyll Meter Sufficiency Indices for Nitrogen Management of Irrigated Rice in Asia. **Agronomy Journal**, v. 92, p. 875-879, 2000.

INDI (Instituto de Desenvolvimento Integrado de Minas Gerais), 2006. Disponível em: <<http://www.indi.mg.gov.br/perfil/setores/ai.html>>. Acesso em: 03 jul 2006.

LAVRES JUNIOR, J. **Combinações de doses de Nitrogênio e Potássio para o Capim-Mombaça**. 2001. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ, Piracicaba, 2001.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrados: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 32., 1995, Brasília. **Anais...** Brasília: SBZ, 1995. p. 28-62.

MALAVOLTA, E.; LIEM, T. H.; PRIMAVESI, A. C. P. A. Exigências nutricionais das plantas forrageiras. In: MATTOS, H. B.; WERNER, J. C.; YAMADA, T.; MALAVOLTA, E. **Calagem e adubação de pastagens**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 31-76, 1986.

MANARIM, C. A. **Respostas fisiológicas, bioquímicas e produtivas do capim-Mombaça a doses de nitrogênio**. 2000. 58 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ, Piracicaba, 2000.

MARCELINO, K. R. A.; VILELA, L.; LEITE, G. G.; GUERRA, A. F.; DIOGO, J. M. S. Manejo da adubação nitrogenada de tensões hídricas sobre a produção de matéria seca e índice de área foliar de tifton 85 cultivado no cerrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 32, n. 2, p. 268-275, 2003.

MARTHA JUNIOR, G. B.; VILELA, L. Pastagens no Cerrado: Baixa Produtividade pelo Uso Limitado de Fertilizantes. **Documentos 50**, Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 32, 2002.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. in: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, MG, p. 143-168, 1999.

MEDEIROS, H. R. **Avaliação de modelos matemáticos desenvolvidos para auxiliar a tomada de decisão em sistema de produção de ruminantes em pastagens**. 2003. 98 f. Dissertação (Doutorado em Agronomia) – ESALQ, Piracicaba, 2003.

MENESES, R.; MADEIRA NETO, J. S. **Sensoriamento remoto – reflectância dos alvos naturais**. Brasília, 2001, 262 p.

MESQUITA, E. E.; PINTO, J. C. Nitrogênio e métodos de semeadura no rendimento da forragem de pós-colheita de sementes de milho [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 4, n. 29, p. 971-977, 2000.

MORGENTHALER, G. W.; KHATIB, N.; KIM, B. Incorporating a constrained optimization algorithm into remote sensing/precision agriculture methodology. **Acta astronautica**, v. 53, n. 4, p. 429-437, 2003.

MOGES, S. M.; RAUN, W. R.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; JOHNSON, G. V.; SOLIE, J. B. Evaluation of green, red and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 8, p. 1431-1441, 2004.

MUTANGA, O.; SKIDMOREA, A. K.; WIERENB, S. Discriminating tropical grass (*Cenchrus ciliaris*) canopies grown under different nitrogen treatments using spectroradiometry. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 263– 272, 2003.

NASCIMENTO JÚNIOR, D.; QUEIROZ, D. S.; SANTOS, M. V. F. Degradação das pastagens e critérios para avaliação. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM, 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p. 325.

NERIS, L. O. **Um piloto automático para as aeronaves do projeto ARARA.** 2001. 102 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Matemática e Computação)- Instituto de Ciências Matemática e de Computação, USP, São Carlos, 2001.

PAULINO, V. T.; SCHUNKE, R.; CANTARELLA, H. Avaliação do nível de nitrogênio em quatro cultivares de *Panicum maximum* Jacq. através da medida indireta de clorofila. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35., 1998, Botucatu. **Anais...** Botucatu: SBZ, 1998. p. 508-511.

PETERSON, T. A.; BLACKMER, T. M.; FRANCIS, D. D.; SCHEPERS, J. S. **Using a chlorophyll meter to improve N management.** In: Nebguide G93-1171A. Cooperative Extension, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska, Lincoln, 1993.

PINHEIRO, V. D. **Viabilidade econômica da irrigação de pastagem de capim Tanzânia em diferentes regiões do Brasil.** 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ, Piracicaba, 2002.

PIOVESAN, E. C.; SILVEIRA, G. C.; GONÇALVES JUNIOR, J. C. C. Perspectivas futuras para o projeto SOFIA - Sistema de Obtenção de Fotos e Imagens com Aeromodelo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2004, Florianópolis. **Resumos...** Florianópolis: UFSC, 2004.

REGAZZI, A. J. INF 664 – Modelos Lineares I. In: _____. **Análise de regressão para o caso de dados com repetição.** Viçosa: UFV, 2004. cap. 3, p. 43-58.

RESTLE, J.; ROSO, C.; SOARES, A. B.; LUPATINI, G. C.; ALVES FILHO, D. C.; BRONDANI, I. L. Produtividade Animal e Retorno Econômico em Pastagem de Aveia Preta mais Azevem Adubada com Fontes de Nitrogênio em Cobertura. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 29, n. 2, p. 357-364, 2000.

ROBERT, P. C. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. **Plant and Soil**, Precision agriculture Center, University of Minnesota, USA, v. 247, p. 143-149, 2002.

RODRIGUES, R. C. **Calcário, Nitrogênio e enxofre para a recuperação do capim-Braquiária cultivado em solo proveniente de uma pastagem degradada.** 2002. 141 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ, Piracicaba, 2002.

SANTOS, J. H. S. **Proporções de nitrato e amônio na nutrição e produção dos capins aruana e marandu.** 2003. 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - ESALQ, Piracicaba, 2003.

SCHEPERS, J. S.; BLACKMER, T. M.; FRANCIS, D. D. Chlorophyll meter method for estimating nitrogen concentration content in plant tissue. In KALRA, Y.P. **Handbook of reference methods for plant analysis**, CRC Press, Boca Raton, FL, p. 129-135, 1998.

SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D.; VIGIL, M.; BELOW, F. E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 23, n. 17-20, p. 2173-2187, 1992.

SCHRÖDER, J. J.; NEETESON, J. J.; OENEMA, O.; STRUIK, P. C. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, v. 66, p. 151-164, 2000.

SENA JUNIOR, D. G. **Utilização de técnicas de visão artificial para ajuste da adubação nitrogenada em trigo**. 2005. 149 f. Dissertação (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UFV, Viçosa, 2005.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 9, p. 895-901, 2004.

SORIA, L. G. T. **Produtividade do capim-tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Tanzânia) em função da lâmina de irrigação e de adubação nitrogenada**. 2002. 170 f. Tese (doutorado) – ESALQ, Piracicaba, 2002.

VIDERE DESIGN. **STH-DCSG-VAR/-C Stereo Head User`s Manual**. Califórnia, EUA, 2005. 27 p.

WIEGAND, C. L.; ESCOBAR, D. E.; LINGLE, S. E. Detecting growth variation and salt stress in sugarcane using videography. In PROC. 14TH BIENNIAL WORKSHOP ON COLOR AERIAL PHOTOGRAPHY AND VIDEOGRAPHY FOR RESOURCE MONITORING, **American Society for Photogrammetry and Remote Sensing**, p. 185-199, 1994.

7. APÊNDICES

Apêndice A

Código-fonte do algoritmo implementado no MATLAB, para juntar as imagens capturadas simultaneamente pelos pares de câmeras testados no sistema da haste e visualizá-las para serem salvas.

```
%
% Algoritmo para juntar o par de imagens capturado
% simultaneamente entre todos os pares de cameras testados
%
% Mario Cupertino da Silva Junior
%
% Algoritmo para juntar as imagens NIR e RGB
clear; clc;%limpa a tela e todas as variaveis armazenadas
%
iCIR=imread('nome_da_figura_na_faixa_NIR.tif');%entre com o nome
%da imagem da camera NIR
iRGB=imread('nome_da_figura_nas_faixas_RGB.tif');%entre com o
%nome da imagem da camera color
%
IR=iCIR(:,:,);
R=iRGB(:,:,1);
G=iRGB(:,:,2);
B=iRGB(:,:,3);
%
[li co z]=size(iCIR);
imagem=zeros(li,co,3);
imagem(:,:,1)=IR;
imagem(:,:,2)=R;
imagem(:,:,3)=G;
imageml=uint8(imagem);
imshow(imageml)%mostra imagem para ser salva e em poder ser
%cortados os blocos
%FIM do processamento entre o par de cameras monocromatica(NIR)
%e colorida(RGB)
%
% Algoritmo para juntar as imagens NIR e VERDE das cameras
monocromaticas
%
clear; clc; %limpa a tela e todas as variaveis armazenadas
%
iCIR=imread('nome_da_figura_na_faixa_NIR.tif');%entre com o nome
%da imagem da camera NIR
```

```

iVERDE=imread('nome_da_figura_na_faixa_verde.tif');%entre com o
%nome da imagem da camera com filtro verde
%
IR=iCIR(:,:);
G=iVERDE(:,:);
[li co z]=size(iCIR);
imagem=zeros(li,co,3);
AUX=zeros(li,co,1);
imagem(:,:,1)=IR;
imagem(:,:,2)=G;
imagem(:,:,3)=AUX;
imagem2=uint8(imagem);
imshow(imagem2)%mostra imagem para ser salva e em poder ser
%cortados os blocos
%FIM do processamento entre o par de cameras monocromatica(NIR)
%e monocromatica(G)
%
% Algoritmo para juntar as imagens NIR e VERMELHA das cameras
%monocromaticas
%
clear; clc; %limpa a tela e todas as variaveis armazenadas
%
iCIR=imread('nome_da_figura_na_faixa_NIR.tif');%entre com o nome
%da imagem da camera NIR
iVERMELHO=imread('nome_da_figura_na_faixa_vermelho.tif');%entre
%com o nome da imagem da camera com filtro vermelho
%
IR=iCIR(:,:);
R=iVERMELHO(:,:);
[li co z]=size(iCIR);
imagem=zeros(li,co,3);
AUX=zeros(li,co,1);
imagem(:,:,1)=IR;
imagem(:,:,2)=R;
imagem(:,:,3)=AUX;
imagem2=uint8(imagem);
imshow(imagem2)%mostra imagem para ser salva e em poder ser
%cortados os blocos
%FIM do processamento entre o par de cameras monocromatica(NIR)
%e monocromatica(R)

```

Apêndice B

Código-fonte do algoritmo implementado no MATLAB, para cortar os blocos nas imagens do sistema da haste.

```
%
% Algoritmo para criar arquivo texto e cortar os blocos nas
imagens
%
% Mario Cupertino da Silva Junior
%
% Lembrar de alterar o diretorio para o diretorio corrente
% Colocar apenas as amostras a serem recortadas neste diretorio
%
clear; clc;%limpar a tela e as variaveis armazenadas
%
dir_grava='D:\Mário Júnior\TESE\teste índice\';%diretorio que
sera armazenados os blocos
%
d=dir;
str={d.name};
%
% Verifique em qual posição do vetor começa as imagens
%
for i=3:size(str,2)
    a=str(i);
    a=a{1,1};
    im=imread(a);
    imshow(im);
    [col lin r]=impixel(im);
    local=strcat(dir_grava,a,'.txt');
    fid=fopen(local,'w');
    arq=[col lin];
    fprintf(fid,'%4.0f %4.0f\n',arq);
    fclose(fid);
end
%
for k=1:30% numero de amostras
    fad='R'; % altere os arquivos para que se iniciem com a
%letra R
    dir_grava='D:\Mário Júnior\TESE\teste índice\'; % diretorio
%que sera gravado as imagens
    dir_le='D:\Mário Júnior\TESE\teste índice\';% diretorio que
%sera gravado os arquivos txt
    dir_lee='D:\Mário Júnior\TESE\teste índice\';% diretorio que
%sera lido as imagens
    arq=strcat(dir_le,fad,num2str(k),'.tif.txt');
    [col,lin]=textread(arq,'%d%d');
    for i=1:1 % numero de recortes de cada amostra
        ext='.tif'; %tipo de extensao
        ima=strcat(fad,num2str(k),ext);
```

```
        local=strcat(dir_lee,ima);
        im=imread(local);
        lini=lin(i);
        coli=col(i);
        amostra=im(lini:lini+240,coli:coli+240,:); %tamanho do
%bloco 240 x 240 pixels
        nome=strcat(dir_grava,num2str(k),'-',num2str(i),'.tif');
        imwrite(amostra,nome);
    end
end

fim='FIM DO PROCESSAMENTO'% Fim do processamento
%
```

Apêndice C

Código-fonte do algoritmo implementado no MATLAB, para processar as imagens do capim e calcular os índices “color” do sistema de SR da haste e do sistema do balão nas quatro alturas testadas.

```
%
% Algoritmo para calcular os índices “color” do sistema de SR da
%haste
%
% Mario Cupertino da Silva Junior
%
clear; clc; %limpar a tela e as variaveis armazenadas
% Calculo do indice GNDVicolor
for i=1:30 % numero de blocos referentes ao numero de parcelas
    a=imread(input('nome da imagem, bloco, com a extensao entre
aspas: '));
    % Matriz indice
    c=double(a);
    %indice GNDVicolor
    gndvi=(c(:,:,1)-c(:,:,3))./(c(:,:,1)+c(:,:,3));
    f=mean(mean(gndvi));
    g(1,i)=f;
end
%FIM do calculo do GNDVicolor
%
clear; clc; %limpar a tela e as variaveis armazenadas
% Calculo do indice NDVicolor
for i=1:30 % numero de blocos referentes ao numero de parcelas
    a=imread(input('nome da imagem, bloco, com a extensao entre
aspas: '));
    % Matriz indice
    c=double(a);
    %indice NDVicolor
    ndvi=(c(:,:,1)-c(:,:,2))./(c(:,:,1)+c(:,:,2));
    f=mean(mean(ndvi));
    g(1,i)=f;
end
%FIM do calculo do NDVicolor
clear; clc; %limpar a tela e as variaveis armazenadas
% Calculo do indice SAVicolor
for i=1:30 % numero de blocos referentes ao numero de parcelas
    a=imread(input('nome da imagem, bloco, com a extensao entre
aspas: '));
    % Matriz indice
    c=double(a);
    %indice SAVicolor
    savi=((c(:,:,1)-c(:,:,2))./(c(:,:,1)+c(:,:,2)+
0.5))*(1+0.5);
    f=mean(mean(savi));
    g(1,i)=f;
end%FIM do calculo do SAVicolor
```

Apêndice D

Código-fonte do algoritmo implementado no MATLAB, para processar as imagens do capim e calcular os índices “mono” do sistema de SR da haste.

```
%
% Algoritmo para calcular os indices "mono" do sistema de SR da
haste
%
% Mario Cupertino da Silva Junior
%
clear; clc; %limpar a tela e as variaveis armazenadas
% Calculo do indice GNDVImono
for i=1:30
    a=imread(input('nome da imagem, bloco, com a extensao entre
%aspas:  '));
    % Matriz indice
    c=double(a);
    %indice GNDVImono
    gndvi=(c(:,:,1)-c(:,:,2))./(c(:,:,1)+c(:,:,2));
    f=mean(mean(gndvi));
    g(1,i)=f;
end
% FIM do calculo do indice GNDVImono
clear; clc; %limpar a tela e as variaveis armazenadas
% Calculo do indice NDVImono
for i=1:30
    a=imread(input('nome da imagem, bloco, com a extensao entre
%aspas:  '));
    % Matriz indice
    c=double(a);
    %indice NDVImono
    ndvi=(c(:,:,1)-c(:,:,2))./(c(:,:,1)+c(:,:,2));
    f=mean(mean(ndvi));
    g(1,i)=f;
end
% FIM do calculo do indice NDVImono
clear; clc; %limpar a tela e as variaveis armazenadas
% Calculo do indice SAVImono
for i=1:30
    a=imread(input('nome da imagem, bloco, com a extensao entre
%aspas:  '));
    % Matriz indice
    c=double(a);
    %indice SAVImono
    savi=((c(:,:,1)-c(:,:,2))./(c(:,:,1)+c(:,:,2)+0.5))*(1+0.5);
    f=mean(mean(savi));
    g(1,i)=f;
end
% FIM do calculo do indice NDVImono
%
```


Apêndice E

Código-fonte do algoritmo implementado no MATLAB para elaborar a análise de variância da regressão com falta de ajustamento e os testes de significância dos coeficientes dos modelos ajustados

```
%
%Algoritmo desenvolvido para calcular a Analise de Variancia
%da Regressao com o Teste para falta de ajustamento
%
% Mario Cupertino da Silva Junior
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Modelo de Regressao Linear Primeiro Grau
%  $Y_i = B_0 + B_1 X_i + e_i$ ,
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% Utilizando as observações individuais
clear all;
clc;
%Le o arquivo em planilha do excell e armazena na variavel Y
Y = xlsread('GNDVI_MONO_2coleta_1fase');
X = [1 0;1 0;1 0;1 0;1 0;1 0;1 50;1 50;1 50;1 50;1 50;1 50;
     1 100;1 100;1 100;1 100;1 100;1 100;1 100;1 150;1 150;1 150;
     1 150;1 150;1 150;1 200;1 200;1 200;1 200;1 200;1 200;];
B = (X'*X)^-1*X'*Y;
B0 = B(1,1)% Beta zero
B1 = B(2,1)% Beta um
r = 6; % numero de repetição
n = 30; % numero de observações
total_trato_0 = sum(Y(1:6,1),1); %total do tratamento 0
total_trato_50 = sum(Y(7:12,1),1); %total do tratamento 50
total_trato_100 = sum(Y(13:18,1),1); %total do tratamento 100
total_trato_150 = sum(Y(19:24,1),1); %total do tratamento 150
total_trato_200 = sum(Y(25:30,1),1); %total do tratamento 200
G = total_trato_0 + total_trato_50 + total_trato_100 +
total_trato_150 + total_trato_200; %Soma dos totais dos tratos
%Soma dos totais dos tratos ao quadrado
T=(total_trato_0)^2 + (total_trato_50)^2 + (total_trato_100)^2
+ (total_trato_150)^2 + (total_trato_200)^2;
C = (G^2)/n;
%Quadro da analise de Variancia da Regressao
%com o teste para falta de ajustamento
%Soma dos Quadrados
SQTotal = Y'*Y - C
SQTratamento = (1/r)*(T)-C
SQResiduo = SQTotal - SQTratamento
SQRegressao = B'*(X'*Y)- C
SQResiduodaRegressao = SQTotal - SQRegressao;
% e a falta de ajuste
SQFaltadeAjuste = SQResiduodaRegressao - SQResiduo
%Graus de Liberdade
```

```

GLRegressao = 1; %nr
GLFaltadeAjustamento = 3; %nf = I-p-1 ,
%onde p=numero de coeficientes de regressao,
sem incluir o B0 e I=numero de tratamentos.
GLTratamentos = 4;
GLResiduo = 25; %ne, erro puro
%Quadrados Medios
QMRegressao = SQRegressao / GLRegressao
QMFaltadeAjuste = SQFaltadeAjuste / GLFaltadeAjustamento
QMResiduo = SQResiduo / GLResiduo
%Teste F para Falta de Ajuste
% F calculado para a Falta de Ajuste
Fcalc_FA = QMFaltadeAjuste / QMResiduo
Ftab_FA = 4.68; %F tabelado para a Falta de Ajuste
%a 1% de significancia
%  $F(1\%)(nf;ne)=(3;25)=4.68$ 
if Fcalc_FA >= Ftab_FA
    disp('Resultado "Significativo":')
    disp('o "Modelo Linear de Primeiro Grau" ajustado')
    disp ('nao e´ apropriado');
    disp('Recomendação: testar ajuste para')
    disp('"Modelo Linear de Segundo Grau"');
    else
    disp('Resultado "Nao Significativo": ')
    disp('o "Modelo Linear de Primeiro Grau" adotado')
    disp('se ajusta bem aos dados, ');
    disp('pode-se admitir que o modelo')
    disp('e´ adequado nao havendo necessidade')
    disp('de se testar outro modelo');
end
%Teste F para a Regressao
% F calculado para a Analise de Regressao
Fcalc_Reg = QMRegressao / QMResiduo
Ftab_Reg = 7.64; %F calculado para a Analise de Regressao
%a 1% de significancia
%  $F(1\%)(1;n-2)=(1;28)=7.64$ 
if Fcalc_Reg >= Ftab_Reg
    disp('Resultado "Significativo": A variavel independente')
    disp('Doses de Adubação de N');
    disp ('influencia significativamente a variavel ')
    disp('dependente analisada,ao nivel de significancia de 1%');
    else
    disp('Resultado "Nao Significativo": A variavel
independente')
    disp('Doses de Adubação de N');
    disp('NAO influencia significativamente a variavel ')
    disp('dependente analisada, ao nivel de significancia de
1%');
end
%Coeficiente de Determinação
% "Sob o ponto de vista da estatistica experimental,
%quando temos dados de um delineamento experimental e
%usamos regressao, e´ usual obter o coeficiente de determinação
%R2 (regressao simples) dado pelo quociente
% entre SQRegressao e SQTratamentos. (REGAZZI, A. J. 2004)"
%
```

```

disp('R2 baseado no total');
%coeficiente de determinação para uma observação
R2 = (SQRegressao / SQTotal)*100
disp('R2 baseado nos tratamentos');
%coeficiente de determinação para mais de uma observação
R2_1 = (SQRegressao / SQTratamento)*100
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Se o resultado do Teste F para a Falta de Ajuste for
%nao significativo, significa que o modelo de primeiro grau
%é adequado, portanto efetua-se o teste t dos Betas(B0,B1)
%para o modelo de primeiro grau.
% s2 = estimativa da variancia = QMResiduo
s2 = QMResiduo;
Cov_B = (X'*X)^-1*s2;
V_B0 = Cov_B(1,1);
V_B1 = Cov_B(2,2);
Cov_B0B1 = Cov_B(1,2);
% t(ne), onde ne é o numero de graus de liberdade associado
%`a variancia residual (s2 = QMResiduo); ne = 25. Utilizando
% 1% de probabilidade
% t tabelado(25) a 1% de significancia = 2.79
%Testar a hipotese do tipo
% H0: B1 = 0
% H1: B1 =~ 0
% Usa-se o teste t de Student para B1
%
t_calc_B1 = (B1)/(V_B1)^0.5;
%
if t_calc_B1 >= t_tab | t_calc_B1*-1 >= t_tab
    disp('Resultado "Significativo": Beta um (B1) ')
    disp('pertence ao modelo');
else
    disp('Resultado "Nao Significativo": Beta um (B1)')
    disp('nao pertence ao modelo');
end
%
disp('FIM DA ANALISE DE VARIANCIA DA REGRESSAO PARA O ')
disp('MODELO LINEAR DE PRIMEIRO GRAU');
disp('INICIO DA ANALISE DE VARIANCIA DA REGRESSAO PARA O ')
disp('MODELO LINEAR DE SEGUNDO GRAU');
% FIM DA ANALISE DE REGRESSAO DO MODELO DE PRIMEIRO GRAU
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Modelo de Regressao Linear de Segundo Grau
% Yi = B0 + B1*Xi + (B2*Xi)^2 + ei,
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Utilizando as observações individuais
%clear all;
%clc;
%Y = xlsread('SPAD_1coleta_1fase');
X = [1 0 0;1 0 0;1 0 0;1 0 0;1 0 0;1 0 0;1 50 2500;
     1 50 2500;1 50 2500;1 50 2500;1 50 2500;1 50 2500;
     1 100 10000;1 100 10000;1 100 10000;1 100 10000;
     1 100 10000;1 100 10000;1 150 22500;1 150 22500;
     1 150 22500;1 150 22500;1 150 22500;1 150 22500;
     1 200 40000;1 200 40000;1 200 40000;1 200 40000;
     1 200 40000;1 200 40000];

```

```

% Coeficientes do modelo
B = (X'*X)^-1*X'*Y;
B0 = B(1,1)%Beta um
B1 = B(2,1)%Beta dois
B2 = B(3,1)%Beta tres
n = 30; % numero de observacoes
r = 6; % numero de repeticao
total_trato_0 = sum(Y(1:6,1),1); %total do tratamento 0
total_trato_50 = sum(Y(7:12,1),1); %total do tratamento 50
total_trato_100 = sum(Y(13:18,1),1); %total do tratamento 100
total_trato_150 = sum(Y(19:24,1),1); %total do tratamento 150
total_trato_200 = sum(Y(25:30,1),1); %total do tratamento 200
%Soma dos totais dos tratos
G = total_trato_0 + total_trato_50 + total_trato_100
    + total_trato_150+ total_trato_200;
%Soma dos totais dos tratos ao quadrado
T = (total_trato_0)^2 + (total_trato_50)^2 +
    (total_trato_100)^2 + (total_trato_150)^2 +
    (total_trato_200)^2;
C = (G^2)/n;
%Quadro da analise de Variancia da Regressao
%com o teste para falta de ajustamento
%Soma dos Quadrados
SQTotal = Y'*Y - C
SQTratamento = (1/r)*(T)-C
SQResiduo = SQTotal - SQTratamento
SQRegressao = B'*(X'*Y)- C
SQResiduodaRegressao = SQTotal - SQRegressao;
SQFaltadeAjuste = SQResiduodaRegressao - SQResiduo
%Graus de Liberdade
GLRegressao = 2; %nr
GLFaltadeAjustamento = 2; %nf = I-p-1 ,
%onde p=numero de coeficientes de regressao,
%sem incluir o B0 e I=numero de tratamentos.
GLTratamentos = 4;
GLResiduo = 25; %ne, erro puro
%Quadrados Medios
QMRegressao = SQRegressao / GLRegressao
QMFaltadeAjuste = SQFaltadeAjuste / GLFaltadeAjustamento
QMResiduo = SQResiduo / GLResiduo
%Teste F para Falta de Ajuste
%F calculado para a Falta de Ajuste
Fcalc_FA = QMFaltadeAjuste / QMResiduo
Ftab_FA = 5.57; % F tabelado para a Falta de ajuste
%A 1% de significancia
%F(1%)=(nf;ne)=(2;25)=5.57
%
if Fcalc_FA >= Ftab_FA
    disp('Resultado "Significativo": ')
    disp('o "Modelo Linear de Segundo Grau" ajustado')
    disp('nao e´ apropriado');
    disp('Recomendaçao: testar ajuste para ')
    disp('"Modelo Linear de Terceiro Grau"');
    disp('ou Finaliza-se a ana´lise de Regressao')
    disp('em cima dos resultados');
    disp('deste "Modelo Linear de Segundo Grau"');

```

```

else
    disp('Resultado "Nao Significativo":')
    disp('o "Modelo Linear de Segundo Grau" adotado');
    disp('se ajusta bem aos dados, ');
    disp('pode-se admitir que o modelo e´ adequado ');
    disp('nao havendo necessidade de se');
    disp('testar outro modelo');
end
%Teste F para a Regressao
%F calculado para a Regressao
Fcalc_Reg = QMRegressao / QMResiduo
Ftab_Reg = 7.64; %F tabelado para a Regressao
%a 1% de significancia
%F(1%)=(1;n-2)=(1;28)=7.64
%
if Fcalc_Reg >= Ftab_Reg
    disp('Resultado "Significativo": ')
    disp('A variavel independente (Doses de Adubação de N)');
    disp('influencia significativamente ');
    disp('a variavel dependente analisada,');
    disp('ao nivel de significancia de 1%');
else
    disp('Resultado "Nao Significativo": ')
    disp('A variavel independente (Doses de Adubação de N)');
    disp('NAO influencia significativamente ');
    disp('a variavel dependente analisada,');
    disp('ao nivel de significancia de 1%');
end
%Coeficiente de Determinação
% "Sob o ponto de vista da estatistica experimental,
% quando temos dados de um delineamento experimental
% e usamos regressao, e´ usual obter o coeficiente de
% determinação r2 (regressao simples) dado pelo quociente
% entre SQRegressao e SQTratamentos (REGAZZI, A. J. 2004)"
%
disp('R2 baseado no total');
%coeficiente de determinação para uma unica observação
R2 = (SQRegressao / SQTotal)*100
disp('R2 baseado nos trtamentos');
%coeficiente de determinação para
%mais de um valor observado
R2_1 = (SQRegressao / SQTratamento)*100
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Se o resultado do Teste F para a Falta de Ajuste
%for nao significativo,
%significa que o modelo de segundo grau e´ adequado,
% portanto efetua-se o teste t dos Betas(B0,B1 e B2)
%para o modelo de segundo grau.
% s2 = estimativa da variancia = QMResiduo
s2 = QMResiduo;
Cov_B = (X'*X)^-1*s2;
V_B0 = Cov_B(1,1);
V_B1 = Cov_B(2,2);
V_B2 = Cov_B(3,3);
Cov_B0B1 = Cov_B(1,2);
Cov_B0B2 = Cov_B(1,3);

```

```

Cov_B1B2 = Cov_B(2,3);
% t(ne), t tabelado onde ne e' o numero de graus
% de liberdade associado `a variancia
% residual (s2 = QMResiduo); ne = 25. Utilizando
% 1% de probabilidade
% t tabelado(25) a 1% de significancia = 2.79
t_tab = 2.79;
%Testar a hipotese do tipo
% H0: B1 = 0
% H1: B1 =~ 0
% usa-se o teste t de Student para testar B1
%
t_calc_B1 = (B1)/(V_B1)^0.5;
%
if t_calc_B1 >= t_tab | t_calc_B1*-1 >= t_tab
    disp('Resultado "Significativo": Beta um (B1) ')
    disp('pertence ao modelo');
else
    disp('Resultado "Nao Significativo": Beta um (B1)')
    disp('nao pertence ao modelo');
end
%
%Testar a hipotese do tipo
% H0: B2 = 0
% H1: B2 =~ 0
% usa-se o teste t de Student para testar B2
%
t_calc_B2 = (B2)/(V_B2)^0.5;
%
if t_calc_B2 >= t_tab | t_calc_B2*-1 >= t_tab
    disp('Resultado "Significativo": Beta dois (B2)')
    disp('pertence ao modelo');
else
    disp('Resultado "Nao Significativo": Beta dois (B2)')
    disp('nao pertence ao modelo');
end
%
disp('FIM DA ANALISE DE REGRESSAO PARA O ')
disp('MODELO LINEAR DE SEGUNDO GRAU ');
disp('E FIM DA ANALISE DE REGRESSAO ');
disp('PARA ESTA VARIAVEL ANALISADA');
% FIM DA ANALISE DE REGRESSAO PARA O MODELO DE SEGUNDO GRAU
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

Apêndice F

Resultados da análise de solos efetuado no Laboratório de Análise de Solos Viçosa Ltda na cidade de Viçosa em Minas Gerais.

Resultados Analíticos

Ref. Lab.	Referência do Cliente		pH		P	K	Na	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al
			H ₂ O		mg/dm ³			cmolc/dm ³			
01	Solo Agrostotlogia		6,0	-	2,20	125,0	-	1,90	0,80	0,0	3,96

Ref. Lab.	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	ISNa	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S
	cmolc/dm ³			%			dag/k	Mg/L	mg/dm ³					
01	3,02	3,02	6,98	43	0	-	2,79	22,5	5,9	391,0	179,8	7,4	0,48	16,84

SB (Soma de Bases Trocáveis) = $K^+ + Ca^{2+} + Mg^{2+}$

CTC(T) (Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0) = SB + (H+Al)

CTC(t) (Capacidade de Troca Catiônica Efetiva) = SB + Al³⁺

V (Índice de Saturação de Bases) = $(SB/T) * 100$

m (Índice de Saturação de Alumínio) = $(100 * Al^{3+}) / t$

ISNa (Índice de Saturação de Sódio)

Resultados de Análises Granulométricos

Ref. Lab.	Referência do Cliente	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural
		%				
01	Solo Agrostologia	12	17	30	41	Argila

Apêndice G

Resultados obtidos na 1ª aquisição dos dados em 04/03/2006 na primeira fase experimental.

TRATOS	NDVI (color)	GNDVI (color)	SAVI (color)	SPAD	N FOLIAR %	NDVI (mono)	GNDVI (mono)	SAVI (mono)
0	0,1233	0,0370	0,1843	32,1000	1,6800	0,1112	0,0369	0,1664
0	0,3323	0,2447	0,4969	35,6000	1,5400	0,2015	0,0682	0,3015
0	0,2510	0,1660	0,3753	35,5000	1,9000	0,2138	-0,0195	0,3199
0	0,2865	0,2054	0,4284	31,7000	1,6800	0,2435	0,0549	0,3642
0	0,3555	0,2588	0,5310	37,9000	1,9000	0,3056	-0,0931	0,4572
0	0,2771	0,1932	0,4143	34,7000	1,6800	0,2579	-0,0764	0,3858
50	0,4533	0,3785	0,6774	45,3000	2,4100	0,4544	0,2080	0,6795
50	0,4828	0,4084	0,7219	46,0000	2,1000	0,5718	0,1042	0,8554
50	0,4079	0,3291	0,6096	45,3000	2,5800	0,4154	0,1378	0,6216
50	0,4528	0,3709	0,6769	44,2000	2,5500	0,5746	0,1332	0,8597
50	0,3792	0,2911	0,5668	46,5000	2,7200	0,5591	0,0503	0,8362
50	0,4737	0,3988	0,7082	47,7000	2,4600	0,5807	0,1024	0,8687
100	0,4779	0,3896	0,7139	46,1000	2,4400	0,5532	0,2360	0,8269
100	0,4655	0,3825	0,6949	46,3000	2,4400	0,3224	0,2346	0,4818
100	0,5274	0,4611	0,7886	48,5000	2,4100	0,7261	0,1878	1,0860
100	0,4055	0,3259	0,6063	46,3000	2,4900	0,6645	0,0915	0,9940
100	0,5333	0,4844	0,7972	45,7000	2,7400	0,5081	0,2489	0,7602
100	0,5110	0,4428	0,7641	47,0000	2,8300	0,5460	0,2106	0,8170
150	0,3704	0,2879	0,5525	51,1000	3,2200	0,6049	0,2561	0,9049
150	0,5090	0,4528	0,7612	51,2000	3,1600	0,5758	0,3065	0,8612
150	0,5246	0,4610	0,7845	51,4000	3,2200	0,6109	0,2832	0,9137
150	0,5062	0,4356	0,7571	50,7000	3,2500	0,6485	0,3199	0,9702
150	0,4928	0,4237	0,7369	48,9000	3,3300	0,6539	0,3096	0,9781
150	0,4565	0,3834	0,6823	49,9000	3,2200	0,5785	0,1470	0,8653
200	0,5000	0,4451	0,7480	52,8000	3,3600	0,6253	0,3142	0,9353
200	0,4960	0,4285	0,7416	51,6000	3,5000	0,6316	0,3234	0,9447
200	0,5240	0,4617	0,7837	52,6000	3,5800	0,6541	0,2829	0,9786
200	0,5208	0,4567	0,7787	50,2000	3,0800	0,6640	0,3165	0,9933
200	0,5446	0,4924	0,8145	53,7000	3,2500	0,6186	0,2207	0,9251
200	0,5568	0,5024	0,8329	51,6000	3,2200	0,6447	0,2086	0,9644

Apêndice H

Resultados obtidos na 2ª aquisição dos dados em 10/03/2006 na primeira fase experimental.

TRATOS	NDVI (color)	GNDVI (color)	SAVI (color)	SPAD	N FOLIAR %	NDVI (mono)	GNDVI (mono)	SAVI (mono)
0	0,3099	0,2265	0,4638	31,2000	1,5400	0,1181	0,1759	0,1767
0	0,3689	0,2800	0,5520	34,0000	1,6000	0,1811	0,1971	0,2709
0	0,1662	0,0751	0,2486	34,3000	1,5100	0,0776	0,1484	0,1160
0	0,2590	0,1745	0,3876	31,2000	1,5400	0,1631	0,1145	0,2439
0	0,3002	0,2052	0,4492	35,5000	1,4800	0,3383	0,1118	0,5058
0	0,1984	0,1147	0,2969	35,9000	1,4300	0,1109	0,1749	0,1659
50	0,5025	0,4298	0,7520	42,4000	2,0700	0,5013	0,3166	0,7495
50	0,4303	0,3575	0,6438	41,0000	1,8200	0,4767	0,3160	0,7127
50	0,3958	0,3188	0,5922	43,0000	2,0700	0,3729	0,2858	0,5577
50	0,3299	0,2392	0,4938	41,7000	2,0700	0,5478	0,3563	0,8195
50	0,4162	0,3361	0,6228	44,3000	2,1300	0,5764	0,3097	0,8620
50	0,4328	0,3574	0,6476	44,5000	2,0700	0,5364	0,3576	0,8022
100	0,4130	0,3294	0,6180	44,9000	2,2400	0,6605	0,3789	0,9877
100	0,3752	0,2990	0,5611	45,9000	2,3800	0,6611	0,3441	0,9886
100	0,4364	0,3629	0,6531	42,4000	1,9600	0,5013	0,4079	0,7497
100	0,3973	0,3184	0,5944	43,5000	2,1300	0,6046	0,3262	0,9042
100	0,5025	0,4533	0,7520	44,3000	2,3500	0,5353	0,4330	0,8007
100	0,4641	0,3966	0,6944	48,3000	2,5200	0,5961	0,3873	0,8912
150	0,5241	0,4645	0,7842	47,5000	2,5200	0,6410	0,4025	0,9586
150	0,4433	0,3817	0,6631	45,4000	2,4900	0,6182	0,4246	0,9244
150	0,4579	0,3891	0,6851	46,9000	2,5200	0,6201	0,3613	0,9273
150	0,4499	0,3858	0,6732	44,1000	2,3000	0,6295	0,4062	0,9415
150	0,4684	0,4076	0,7010	50,3000	2,6900	0,6383	0,4323	0,9544
150	0,4454	0,3781	0,6663	52,5000	2,6900	0,6047	0,4027	0,9041
200	0,5817	0,5343	0,8705	49,6000	2,6600	0,6679	0,4569	0,9984
200	0,4972	0,4447	0,7437	50,3000	2,8000	0,6589	0,4434	0,9853
200	0,4737	0,4168	0,7086	49,6000	3,0500	0,6653	0,4263	0,9949
200	0,4773	0,4198	0,7141	51,6000	2,7400	0,6770	0,4313	1,0123
200	0,4897	0,4400	0,7326	53,5000	2,8300	0,6716	0,4288	1,0041
200	0,4969	0,4507	0,7433	51,7000	2,6900	0,7119	0,4348	1,0641

Apêndice I

Resultados obtidos na 3ª aquisição dos dados em 21/03/2006 na primeira fase experimental.

TRATOS	NDVI (color)	GNDVI (color)	SAVI (color)	SPAD	N FOLIAR %	NDVI (mono)	GNDVI (mono)	SAVI (mono)	Matéria seca
0	0,2627	0,1630	0,3929	27,2000	1,2000	0,2316	-0,0164	0,3461	2,3419
0	0,3387	0,2424	0,5068	32,0000	1,8200	0,1982	-0,0679	0,2956	1,3287
0	0,0681	-0,0373	0,1018	29,4000	1,3200	0,3463	0,0041	0,5171	1,2604
0	0,1250	0,0327	0,1870	28,9000	1,3200	0,1547	0,0692	0,2307	1,1423
0	0,0338	-0,0595	0,0505	32,5000	1,2000	0,3668	-0,0072	0,5476	1,1411
0	0,0019	-0,0970	0,0028	29,4000	1,2300	0,2813	-0,0100	0,4202	2,2293
50	0,2366	0,1461	0,3537	38,0000	1,7400	0,4900	0,1802	0,7317	4,1159
50	0,3644	0,2955	0,5451	36,4000	1,7100	0,5796	0,1538	0,8655	3,0723
50	0,2563	0,1649	0,3836	39,7000	1,5400	0,4353	0,1622	0,6510	2,9632
50	0,2744	0,1824	0,4103	36,5000	1,7400	0,5484	0,1522	0,8190	4,2786
50	0,3019	0,2232	0,4514	34,9000	1,4300	0,6116	0,1346	0,9128	3,7569
50	0,3238	0,2535	0,4842	37,4000	1,7600	0,6187	0,1296	0,9242	4,9414
100	0,2577	0,1763	0,3855	37,8000	1,8500	0,5518	0,1913	0,8241	5,2046
100	0,3045	0,2182	0,4545	40,8000	1,8200	0,6008	0,2074	0,8965	3,3404
100	0,3246	0,2455	0,4855	36,3000	1,4000	0,5492	0,1478	0,8194	4,3205
100	0,3256	0,2459	0,4872	40,5000	1,8200	0,5035	0,1762	0,7516	5,7780
100	0,3208	0,2407	0,4800	39,8000	1,7600	0,6248	0,1516	0,9303	2,8075
100	0,3399	0,2742	0,5083	41,7000	2,1000	0,5931	0,2101	0,8850	6,1114
150	0,3867	0,3348	0,5784	42,4000	2,1600	0,6449	0,2320	0,9630	3,3126
150	0,4828	0,4275	0,7227	42,0000	1,8800	0,6634	0,2391	0,9907	6,2756
150	0,3353	0,2730	0,5014	42,0000	1,8800	0,6316	0,1868	0,9427	5,3885
150	0,3722	0,3131	0,5569	44,0000	2,2100	0,6211	0,2618	0,9268	6,5331
150	0,3387	0,2793	0,5067	42,9000	2,2400	0,5780	0,2696	0,8635	5,1871
150	0,3453	0,2882	0,5161	48,8000	2,4400	0,6541	0,2569	0,9755	4,9645
200	0,5111	0,4714	0,7645	43,0000	1,9300	0,6378	0,2032	0,9519	5,0640
200	0,5000	0,4451	0,7482	46,8000	1,8200	0,6993	0,2900	1,0427	5,3109
200	0,4027	0,3518	0,6022	47,8000	1,7900	0,6559	0,2699	0,9785	4,8765
200	0,2859	0,2349	0,4276	48,1000	2,2100	0,7143	0,2932	1,0673	7,9354
200	0,3253	0,2749	0,4866	46,4000	2,3000	0,6738	0,2796	1,0055	4,4924
200	0,3952	0,3507	0,5907	44,2000	2,1300	0,7256	0,2616	1,0824	6,4613

Apêndice J

Resultados obtidos na 1ª aquisição dos dados em 25/04/2006 na segunda fase experimental.

TRATOS	NDVI (color)	GNDVI (color)	SAVI (color)	SPAD	N FOLIAR %	NDVI (mono)	GNDVI (mono)	SAVI (mono)
0	0,1178	0,0439	0,1762	32,0000	1,6800	0,3796	-0,1901	0,5674
0	0,1085	0,0318	0,1622	32,1000	1,6800	0,3516	-0,1315	0,5257
0	0,0999	0,0276	0,1493	34,8000	1,5100	0,3534	-0,1602	0,5284
0	0,1515	0,0801	0,2266	31,4000	1,4800	0,3837	-0,1479	0,5736
0	0,2037	0,1172	0,3042	32,7000	1,6000	0,3144	-0,1349	0,4701
0	0,1100	0,0396	0,1645	35,5000	1,5700	0,3673	-0,0876	0,5490
50	0,2461	0,1593	0,3681	40,8000	2,2700	0,4874	0,0681	0,7286
50	0,2702	0,1905	0,4042	44,4000	2,1000	0,4685	0,0771	0,7005
50	0,3831	0,3151	0,5730	42,2000	2,1300	0,6810	0,0099	1,0179
50	0,2469	0,1676	0,3693	40,0000	2,0400	0,5355	-0,0232	0,8007
50	0,2826	0,2085	0,4227	42,3000	2,2700	0,5918	-0,0062	0,8849
50	0,2792	0,2078	0,4177	43,4000	2,2400	0,5125	-0,0299	0,7662
100	0,2980	0,2170	0,4456	46,4000	2,3200	0,5273	-0,0271	0,7885
100	0,3340	0,2641	0,4996	43,5000	2,3000	0,7115	0,0907	1,0636
100	0,3172	0,2421	0,4745	49,0000	2,5200	0,4071	0,0704	0,6090
100	0,2685	0,1858	0,4017	46,4000	2,5200	0,6215	0,0814	0,9291
100	0,3933	0,3276	0,5882	46,9000	2,6000	0,6604	0,0674	0,9873
100	0,2712	0,2033	0,4057	46,4000	2,6000	0,6028	0,0333	0,9012
150	0,2986	0,2176	0,4465	46,6000	2,5800	0,6813	0,0568	1,0184
150	0,2156	0,1407	0,3224	48,0000	2,2400	0,5598	0,0989	0,8370
150	0,3057	0,2307	0,4573	47,9000	2,2400	0,6265	0,0281	0,9367
150	0,3989	0,3323	0,5963	50,6000	2,8800	0,6475	0,0443	0,9679
150	0,3520	0,2875	0,5266	49,5000	2,6900	0,6159	-0,0002	0,9207
150	0,3745	0,3092	0,5603	48,0000	2,8600	0,5251	0,1114	0,7849
200	0,2112	0,1359	0,3157	51,0000	3,2500	0,4711	0,1154	0,7042
200	0,3471	0,2837	0,5192	50,5000	2,6000	0,5565	0,0700	0,8320
200	0,3153	0,2467	0,4714	49,8000	3,1100	0,5765	0,0760	0,8616
200	0,3931	0,3210	0,5879	49,3000	3,0800	0,6559	0,0122	0,9805
200	0,3421	0,2787	0,5118	50,5000	3,2200	0,5231	0,0298	0,7818
200	0,3645	0,3076	0,5452	51,1000	3,2800	0,5385	-0,0430	0,8054

Apêndice K

Resultados obtidos na 2ª aquisição dos dados em 03/05/2006 na segunda fase experimental.

TRATOS	NDVI (color)	GNDVI (color)	SAVI (color)	SPAD	N FOLIAR %	NDVI (mono)	GNDVI (mono)	SAVI (mono)
0	0,1657	0,1006	0,2475	33,3000	1,6500	0,6965	0,2430	1,0394
0	0,1551	0,0749	0,2318	31,6000	1,5700	0,6649	0,3456	0,9928
0	0,2113	0,1254	0,3155	34,7000	1,6000	0,7277	0,2879	1,0868
0	0,1681	0,0862	0,2511	34,1000	1,6100	0,6696	0,2145	1,0002
0	0,2146	0,1317	0,3208	35,1000	1,5700	0,7541	0,2648	1,1263
0	0,1551	0,0861	0,2317	34,6000	1,7600	0,7315	0,3458	1,0918
50	0,3299	0,2549	0,4931	38,0000	1,8200	0,8609	0,3905	1,2856
50	0,3602	0,2771	0,5386	40,4000	1,7100	0,9004	0,4292	1,3460
50	0,3393	0,2523	0,5073	41,8000	1,7100	0,7437	0,3788	1,1117
50	0,3138	0,2215	0,4692	42,0000	1,9600	0,8210	0,4552	1,2275
50	0,4309	0,3612	0,6439	42,0000	1,9600	0,8455	0,3658	1,2636
50	0,3072	0,2250	0,4594	44,9000	2,3000	0,8687	0,3427	1,2979
100	0,3971	0,3289	0,5937	39,1000	1,8800	0,8774	0,4701	1,3106
100	0,3862	0,3113	0,5773	42,7000	1,9900	0,9003	0,4803	1,3448
100	0,3407	0,2601	0,5093	44,0000	2,1300	0,9279	0,4638	1,3872
100	0,3710	0,2854	0,5547	46,1000	2,2700	0,8030	0,4939	1,1998
100	0,4811	0,4219	0,7192	45,0000	2,2100	0,8508	0,3656	1,2719
100	0,3656	0,2879	0,5464	44,0000	2,5200	0,8790	0,4027	1,3136
150	0,3780	0,3132	0,5652	43,9000	1,5100	0,9095	0,4009	1,3586
150	0,3968	0,3329	0,5933	46,6000	2,4100	0,9020	0,4301	1,3478
150	0,3341	0,2518	0,4991	45,8000	2,1600	0,8419	0,4996	1,2582
150	0,3576	0,2799	0,5345	51,1000	2,5800	0,9299	0,4352	1,3904
150	0,3698	0,2863	0,5528	49,6000	2,6600	0,8778	0,4471	1,3117
150	0,4502	0,3955	0,6731	49,9000	3,1600	0,8985	0,4901	1,3430
200	0,4068	0,3503	0,6081	50,3000	2,9100	0,9442	0,4090	1,4102
200	0,4320	0,3764	0,6458	48,7000	2,9400	0,8836	0,4511	1,3197
200	0,3931	0,3256	0,5873	51,4000	3,0500	0,8900	0,4318	1,3302
200	0,3884	0,3141	0,5808	51,3000	2,3500	0,8759	0,4252	1,3090
200	0,4089	0,3386	0,6115	54,9000	3,3600	0,8491	0,4799	1,2687
200	0,4052	0,3386	0,6057	52,1000	2,5200	0,8820	0,5423	1,3178

Apêndice L

Resultados obtidos na 3ª aquisição dos dados em 12/05/2006 na segunda fase experimental.

TRATOS	NDVI (color)	GNDVI (color)	SAVI (color)	SPAD	N FOLIAR %	NDVI (mono)	GNDVI (mono)	SAVI (mono)
0	0,0063	-0,0649	0,0093	33,5000	1,5400	0,3596	0,2442	0,5356
0	0,0823	0,0103	0,1227	31,7000	1,4600	0,5290	0,1901	0,7885
0	0,2162	0,1259	0,3222	35,2000	1,4600	0,3492	0,1992	0,5210
0	0,1707	0,0910	0,2548	31,0000	1,2900	0,5135	0,1198	0,7657
0	0,3101	0,2173	0,4628	33,5000	1,6800	0,4578	0,2947	0,6821
0	0,1235	0,0621	0,1844	32,4000	1,4000	0,3430	0,3461	0,5116
50	0,3626	0,2771	0,5410	36,3000	1,7600	0,5903	0,2968	0,8816
50	0,3678	0,2833	0,5493	38,7000	1,7900	0,6527	0,3684	0,9738
50	0,3878	0,3129	0,5791	37,7000	1,5700	0,6562	0,4220	0,9783
50	0,3365	0,2566	0,5025	38,1000	1,7900	0,6979	0,3335	1,0405
50	0,2927	0,2036	0,4370	38,2000	1,7400	0,6122	0,4743	0,9136
50	0,3089	0,2277	0,4618	41,3000	1,9600	0,6163	0,3658	0,9196
100	0,3509	0,2767	0,5239	38,8000	1,8800	0,5204	0,4280	0,7772
100	0,4138	0,3483	0,6180	39,5000	1,8200	0,7263	0,2649	1,0836
100	0,4071	0,3357	0,6076	41,9000	2,0400	0,7641	0,4258	1,1404
100	0,4095	0,3322	0,6112	41,7000	1,8200	0,6732	0,4065	1,0031
100	0,3245	0,2448	0,4845	42,5000	1,9600	0,6569	0,4577	0,9799
100	0,3819	0,2952	0,5704	42,5000	1,9600	0,6891	0,3930	1,0279
150	0,3461	0,2825	0,5165	42,0000	1,9600	0,6902	0,4780	1,0300
150	0,3681	0,2962	0,5491	42,3000	2,3800	0,6916	0,4195	1,0324
150	0,3597	0,2849	0,5370	44,7000	1,8800	0,7476	0,4406	1,1154
150	0,3593	0,2796	0,5362	48,1000	2,1300	0,7168	0,4354	1,0687
150	0,4291	0,3566	0,6408	44,6000	1,9300	0,6412	0,3990	0,9567
150	0,4255	0,3740	0,6352	49,3000	2,7700	0,7045	0,5133	1,0507
200	0,3692	0,3123	0,5506	48,3000	2,3800	0,7189	0,5123	1,0725
200	0,3978	0,3389	0,5937	47,2000	2,2700	0,7704	0,4293	1,1500
200	0,4055	0,3449	0,6055	47,6000	2,8300	0,6111	0,4321	0,9120
200	0,3941	0,3265	0,5878	49,6000	2,6300	0,7992	0,4853	1,1918
200	0,4661	0,4008	0,6955	52,5000	2,5800	0,6830	0,4159	1,0185
200	0,3839	0,3175	0,5731	50,4000	2,8800	0,7978	0,4369	1,1896

Apêndice M

Resultados obtidos na 4ª aquisição dos dados em 20/05/2006 na segunda fase experimental.

TRATOS	NDVI (color)	GNDVI (color)	SAVI (color)	SPAD	N FOLIAR %	NDVI (mono)	GNDVI (mono)	SAVI (mono)	Matéria seca
0	0,0400	-0,0292	0,0597	31,2000	1,4600	0,3885	0,2734	0,5787	0,7283
0	0,0058	-0,0566	0,0086	31,7000	1,5100	0,5882	0,2419	0,8735	1,0904
0	0,0910	0,0201	0,1357	33,1000	1,4000	0,4319	0,1974	0,6425	0,9607
0	-0,0208	-0,0744	-0,0311	32,0000	1,4000	0,5589	0,2203	0,8312	2,1326
0	0,1219	0,0513	0,1818	33,0000	1,2900	0,6054	0,3196	0,8995	0,9039
0	0,1029	0,0273	0,1537	29,5000	1,3700	0,6169	0,2046	0,9179	1,0406
50	0,2107	0,1432	0,3147	33,3000	1,5100	0,6684	0,2636	0,9934	3,7016
50	0,2078	0,1383	0,3104	33,7000	1,6500	0,7177	0,3902	1,0671	1,9562
50	0,2778	0,2004	0,4151	35,9000	1,7100	0,6683	0,3375	0,9948	1,7896
50	0,1804	0,1078	0,2696	33,0000	1,2900	0,6861	0,4171	1,0208	2,6575
50	0,2383	0,1621	0,3558	32,8000	1,4800	0,8041	0,3281	1,1973	2,0259
50	0,2028	0,1252	0,3028	38,1000	2,0700	0,7137	0,2480	1,0630	2,1337
100	0,2701	0,1927	0,4034	35,2000	1,3400	0,6918	0,4308	1,0305	2,7129
100	0,2390	0,1745	0,3569	36,2000	1,4800	0,8000	0,3550	1,1910	2,6974
100	0,2421	0,1742	0,3617	38,5000	1,7100	0,7383	0,4206	1,0981	3,0705
100	0,2381	0,1724	0,3556	38,6000	1,2600	0,8196	0,4053	1,2194	3,5319
100	0,2556	0,1751	0,3817	39,6000	1,4000	0,7870	0,3462	1,1718	3,7370
100	0,1833	0,1116	0,2737	35,9000	1,4300	0,8305	0,3524	1,2358	2,0626
150	0,2626	0,2050	0,3921	36,9000	1,8800	0,8425	0,4397	1,2531	4,7945
150	0,2614	0,2004	0,3905	39,5000	1,5700	0,7082	0,3997	1,0542	4,3121
150	0,2265	0,1602	0,3383	39,8000	1,6200	0,7864	0,4588	1,1702	4,2707
150	0,2987	0,2280	0,4460	42,3000	1,9300	0,7819	0,2731	1,1642	5,0151
150	0,2610	0,1888	0,3897	43,0000	1,8500	0,7267	0,4172	1,0827	3,1739
150	0,2775	0,2183	0,4144	44,3000	2,0200	0,8312	0,3764	1,2374	2,6301
200	0,3290	0,2797	0,4913	45,0000	2,1800	0,7860	0,4926	1,1697	3,9884
200	0,2473	0,1899	0,3692	43,8000	2,1000	0,7122	0,4774	1,0607	5,1303
200	0,2327	0,1714	0,3475	44,9000	2,1600	0,9104	0,4040	1,3549	4,1764
200	0,2457	0,1728	0,3669	45,1000	1,8800	0,7620	0,3695	1,1350	3,8563
200	0,3602	0,3024	0,5377	47,7000	2,5800	0,9165	0,5189	1,3633	5,5360
200	0,3083	0,2390	0,4605	46,2000	2,3800	0,9226	0,4851	1,3721	3,3890

Apêndice N

Resultados obtidos no sistema de SR com balão em 17/03/2006 na primeira fase experimental.

TRATOS	15 m			20 m			25 m			30 m		
	NDVI	GNDVI	SAVI	NDVI	GNDVI	SAVI	NDVI	GNDVI	SAVI	NDVI	GNDVI	SAVI
0	0,1808	0,0473	0,2696	0,3153	0,1887	0,4699	0,2138	0,0897	0,3189	0,2192	0,0998	0,3272
0	0,2238	0,0938	0,3333	0,2056	0,0876	0,3066	0,2150	0,0910	0,3206	0,2362	0,1154	0,3523
0	0,1280	-0,0030	0,1904	0,2039	0,0811	0,3038	0,1990	0,0780	0,2967	0,2021	0,0852	0,3016
0	0,2649	0,1448	0,3945	0,2107	0,0875	0,3145	0,1759	0,0575	0,2626	0,2028	0,0914	0,3028
0	0,2646	0,1324	0,3938	0,3012	0,1855	0,4493	0,3262	0,2096	0,4867	0,3041	0,1892	0,4539
0	0,3290	0,2133	0,4904	0,2422	0,1122	0,3603	0,1949	0,0708	0,2906	0,1818	0,0602	0,2713
50	0,3048	0,1951	0,4549	0,3741	0,2569	0,5578	0,2818	0,1723	0,4206	0,3154	0,2051	0,4707
50	0,1833	0,0666	0,2737	0,2580	0,1505	0,3851	0,2575	0,1489	0,3846	0,3519	0,2444	0,5256
50	0,3909	0,2956	0,5830	0,3770	0,2803	0,5626	0,3402	0,2465	0,5078	0,3809	0,2810	0,5686
50	0,2979	0,1996	0,4441	0,4188	0,3026	0,6247	0,3877	0,2888	0,5788	0,3569	0,2549	0,5328
50	0,3511	0,2538	0,5234	0,3570	0,2468	0,5330	0,3868	0,2844	0,5772	0,3535	0,2432	0,5280
50	0,4041	0,2926	0,6035	0,3407	0,2368	0,5084	0,3595	0,2546	0,5369	0,2890	0,1863	0,4310
100	0,3841	0,2836	0,5736	0,3752	0,2689	0,5602	0,3551	0,2532	0,5301	0,3752	0,2699	0,5601
100	0,4462	0,3467	0,6661	0,5859	0,4949	0,8737	0,4672	0,3719	0,6959	0,3935	0,2926	0,5861
100	0,4033	0,2878	0,6009	0,4037	0,3027	0,6024	0,3661	0,2721	0,5465	0,4064	0,3069	0,6061
100	0,4244	0,3153	0,6306	0,3966	0,2869	0,5919	0,3937	0,2965	0,5876	0,4186	0,3259	0,6252
100	0,3884	0,2723	0,5798	0,3447	0,2296	0,5144	0,3594	0,2595	0,5361	0,3585	0,2558	0,5353
100	0,3299	0,2221	0,4916	0,4045	0,3151	0,6035	0,3966	0,3015	0,5921	0,3753	0,2719	0,5603
150	0,4475	0,3652	0,6669	0,4192	0,3333	0,6246	0,4226	0,3462	0,6301	0,4061	0,3273	0,6061
150	0,4656	0,3628	0,6936	0,3476	0,2555	0,5184	0,3597	0,2783	0,5366	0,3758	0,2860	0,5608
150	0,4759	0,4037	0,7095	0,4020	0,3092	0,5997	0,4200	0,3393	0,6268	0,4507	0,3628	0,6722
150	0,4068	0,3285	0,6067	0,4294	0,3429	0,6407	0,4550	0,3722	0,6786	0,4124	0,3330	0,6159
150	0,4795	0,3903	0,7138	0,4082	0,3142	0,6098	0,4048	0,3297	0,6043	0,4089	0,3127	0,6099
150	0,4722	0,3933	0,7048	0,4446	0,3531	0,6602	0,4010	0,3187	0,5976	0,4129	0,3281	0,6163
200	0,5312	0,4610	0,7897	0,3589	0,2677	0,5357	0,4064	0,3245	0,6061	0,4033	0,3204	0,6017
200	0,4502	0,3859	0,6714	0,4300	0,3425	0,6412	0,4772	0,4045	0,7116	0,4345	0,3589	0,6483
200	0,4120	0,3391	0,6148	0,4532	0,3829	0,6761	0,4371	0,3715	0,6521	0,4150	0,3446	0,6196
200	0,3744	0,2638	0,5585	0,4780	0,3966	0,7126	0,4878	0,4098	0,7272	0,4486	0,3680	0,6690
200	0,4989	0,4182	0,7421	0,4915	0,3992	0,7335	0,4360	0,3558	0,6494	0,4429	0,3635	0,6604
200	0,5116	0,4360	0,7617	0,4698	0,4042	0,7001	0,4506	0,3752	0,6722	0,4092	0,3132	0,6105

Apêndice O

Resultados obtidos no sistema de SR com balão em 18/05/2006 na segunda fase experimental.

TRATOS	15 m			20 m			25 m			30 m		
	NDVI	GNDVI	SAVI	NDVI	GNDVI	SAVI	NDVI	GNDVI	SAVI	NDVI	GNDVI	SAVI
0	-0,0329	-0,0968	-0,0492	-0,0881	-0,1504	-0,1317	-0,0934	-0,1464	-0,1395	-0,0536	-0,1124	-0,0801
0	0,0469	-0,0472	0,0700	-0,0944	-0,1753	-0,1410	-0,0418	-0,1283	-0,0624	-0,0061	-0,0925	-0,0092
0	-0,0755	-0,1471	-0,1128	-0,0639	-0,1225	-0,0954	-0,0666	-0,1259	-0,0994	-0,0463	-0,1077	-0,0691
0	-0,0060	-0,0719	-0,0090	-0,0037	-0,0758	-0,0056	0,0133	-0,0591	0,0198	0,0218	-0,0544	0,0326
0	0,0174	-0,0617	0,0260	0,0013	-0,0695	0,0019	-0,0178	-0,0924	-0,0266	0,0013	-0,0719	0,0020
0	0,0324	-0,0438	0,0484	0,0565	-0,0289	0,0843	0,0473	-0,0381	0,0706	0,0597	-0,0277	0,0890
50	0,1116	0,0174	0,1667	0,1004	0,0098	0,1499	0,0776	-0,0165	0,1159	0,0986	0,0099	0,1472
50	0,0743	-0,0292	0,1110	0,0176	-0,0853	0,0262	0,0572	-0,0383	0,0855	0,0789	-0,0124	0,1177
50	0,0620	-0,0361	0,0926	0,0302	-0,0686	0,0451	0,0583	-0,0401	0,0871	0,0701	-0,0219	0,1047
50	0,1824	0,0976	0,2724	0,0965	0,0087	0,1441	0,1536	0,0667	0,2293	0,1335	0,0473	0,1993
50	0,1582	0,0694	0,2362	0,1770	0,0879	0,2641	0,1617	0,0761	0,2413	0,1558	0,0735	0,2325
50	0,1465	0,0509	0,2186	0,1729	0,0679	0,2581	0,1724	0,0701	0,2573	0,1984	0,1004	0,2960
100	0,1136	0,0133	0,1696	0,0982	-0,0031	0,1466	0,1150	0,0197	0,1717	0,1196	0,0291	0,1786
100	0,1957	0,1106	0,2922	0,1108	0,0166	0,1655	0,1698	0,0759	0,2535	0,1432	0,0529	0,2137
100	0,2779	0,2051	0,4150	0,2056	0,1161	0,3069	0,2325	0,1483	0,3471	0,2319	0,1462	0,3462
100	0,1781	0,0936	0,2658	0,2234	0,1371	0,3332	0,2044	0,1200	0,3050	0,1985	0,1169	0,2962
100	0,1257	0,0380	0,1877	0,1422	0,0401	0,2123	0,1584	0,0652	0,2364	0,1506	0,0577	0,2248
100	0,2343	0,1452	0,3498	0,2509	0,1499	0,3744	0,2762	0,1741	0,4119	0,2687	0,1795	0,4008
150	0,1992	0,1247	0,2976	0,1462	0,0659	0,2185	0,2086	0,1337	0,3115	0,2221	0,1493	0,3315
150	0,1643	0,0862	0,2455	0,1806	0,0949	0,2695	0,1620	0,0788	0,2417	0,1701	0,0901	0,2537
150	0,1570	0,0745	0,2345	0,1482	0,0579	0,2212	0,1693	0,0807	0,2527	0,1914	0,1037	0,2857
150	0,2769	0,2067	0,4135	0,2266	0,1302	0,3381	0,2293	0,1429	0,3421	0,2379	0,1518	0,3549
150	0,3131	0,2198	0,4675	0,2601	0,1551	0,3882	0,2934	0,1961	0,4378	0,2879	0,1936	0,4297
150	0,2811	0,2086	0,4196	0,2187	0,1185	0,3263	0,2308	0,1333	0,3443	0,2124	0,1170	0,3169
200	0,1546	0,0734	0,2310	0,1512	0,0540	0,2257	0,1584	0,0694	0,2365	0,1801	0,0940	0,2687
200	0,2203	0,1533	0,3292	0,1817	0,1018	0,2715	0,1775	0,1025	0,2651	0,2040	0,1248	0,3045
200	0,2946	0,2199	0,4399	0,2879	0,2023	0,4296	0,2721	0,1914	0,4059	0,2657	0,1882	0,3963
200	0,1722	0,0862	0,2573	0,1946	0,1133	0,2904	0,1938	0,1092	0,2891	0,1962	0,1117	0,2927
200	0,3029	0,2443	0,4524	0,2870	0,2097	0,4284	0,2690	0,1899	0,4013	0,2531	0,1752	0,3775
200	0,3687	0,2939	0,5503	0,3597	0,2668	0,5367	0,3488	0,2586	0,5203	0,2919	0,2063	0,4354

Apêndice P

Dados meteorológicos de fevereiro de 2006, obtidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) pela consulta à estação automática de Viçosa (MG). Para as temperaturas instantânea (Inst), máxima (Máx) e mínima (Mín) e a radiação solar os valores são a média diária e para chuva os valores são a quantidade de chuva em (mm) por dia.

Data	Temperatura (°C)			Radiação (kJm ²)	Chuva (mm)
	Inst	Máx	Mín		
1/2/2006	23,1	23,6	22,4	806,1	0,0
2/2/2006	24,1	24,7	23,5	803,4	0,0
3/2/2006	23,7	24,3	23,0	945,2	0,0
4/2/2006	23,6	24,3	22,9	1127,4	0,0
5/2/2006	23,9	24,6	23,2	1198,5	0,0
6/2/2006	24,1	25,0	23,4	1192,3	0,0
7/2/2006	24,1	24,9	23,3	1111,2	0,0
8/2/2006	25,5	26,3	24,7	1353,1	0,0
9/2/2006	26,5	27,3	25,7	1481,5	14,0
10/2/2006	25,0	25,4	24,5	934,0	6,2
11/2/2006	22,8	23,4	22,2	1003,5	10,2
12/2/2006	23,0	23,5	22,6	694,3	24,2
13/2/2006	23,0	23,5	22,5	976,5	2,2
14/2/2006	24,0	24,6	23,5	890,1	0,0
15/2/2006	24,4	25,0	23,9	1040,5	4,4
16/2/2006	23,9	24,4	23,4	630,3	1,8
17/2/2006	23,7	24,3	23,1	1137,2	0,0
18/2/2006	23,0	23,7	22,4	1055,8	0,0
19/2/2006	23,9	24,5	23,1	1313,7	0,0
20/2/2006	24,4	25,2	23,7	1208,9	0,0
21/2/2006	23,6	24,2	22,9	1353,1	0,0
22/2/2006	23,3	24,2	22,5	1393,1	17,6
23/2/2006	22,8	23,3	22,4	668,1	0,0
24/2/2006	24,1	24,6	23,3	1116,5	1,8
25/2/2006	25,1	25,8	24,6	1240,8	0,0
26/2/2006	24,4	25,1	23,8	793,0	1,0
27/2/2006	23,5	23,9	23,0	582,7	1,4
28/2/2006	23,4	24,0	22,9	785,0	8,0

Apêndice Q

Dados meteorológicos de março de 2006, obtidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) pela consulta à estação automática de Viçosa (MG). Para as temperaturas instantânea (Inst), máxima (Máx) e mínima (Mín) e a radiação solar os valores são a média diária e para chuva os valores são a quantidade de chuva em (mm) por dia.

Data	Temperatura (°C)			Radiação (kJm ²)	Chuva (mm)
	Inst	Máx	Mín		
1/3/2006	23,5	24,1	23,1	629,0	6,4
2/3/2006	23,3	23,8	22,9	885,9	3,0
3/3/2006	24,7	25,3	24,2	1055,1	0,0
4/3/2006	24,7	25,3	24,2	1100,2	0,0
5/3/2006	23,8	24,4	23,2	1085,2	6,8
6/3/2006	22,0	22,5	21,5	833,7	40,4
7/3/2006	22,1	22,5	21,6	656,9	0,8
8/3/2006	24,0	24,6	23,3	866,1	0,8
9/3/2006	23,5	24,1	22,9	768,4	0,0
10/3/2006	24,0	24,8	23,4	920,5	14,0
11/3/2006	21,8	22,3	21,4	509,4	10,8
12/3/2006	22,3	23,0	21,7	944,9	0,0
13/3/2006	22,7	23,1	22,1	590,6	0,0
14/3/2006	22,4	22,9	22,0	439,3	7,4
15/3/2006	21,6	22,1	21,1	380,0	62,4
16/3/2006	22,1	22,5	21,7	504,2	4,0
17/3/2006	23,1	23,8	22,5	935,4	0,2
18/3/2006	22,2	22,8	21,7	815,0	10,8
19/3/2006	22,1	22,6	21,7	595,9	1,2
20/3/2006	22,3	22,8	21,8	652,3	0,0
21/3/2006	23,0	23,6	22,4	787,9	0,2
22/3/2006	22,8	23,4	22,3	694,3	0,0
23/3/2006	22,5	23,1	21,8	789,3	0,0
24/3/2006	22,9	23,5	22,3	730,2	0,0
25/3/2006	24,7	25,3	24,2	1048,3	0,0
26/3/2006	22,5	23,1	22,0	586,2	9,4
27/3/2006	21,9	22,6	21,4	794,0	0,0
28/3/2006	22,0	22,7	21,4	953,8	0,0
29/3/2006	22,6	23,2	21,9	868,0	0,2
30/3/2006	23,1	23,6	22,6	563,0	0,2
31/3/2006	21,9	22,4	21,4	590,5	0,4

Apêndice R

Dados meteorológicos de abril de 2006, obtidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) pela consulta à estação automática de Viçosa (MG). Para as temperaturas instantânea (Inst), máxima (Máx) e mínima (Mín) e a radiação solar os valores são a média diária e para chuva os valores são a quantidade de chuva em (mm) por dia.

Data	Temperatura (°C)			Radiação (kJm ²)	Chuva (mm)
	Inst	Máx	Mín		
1/4/2006	21,6	22,2	21,1	694,9	0,0
2/4/2006	22,3	22,8	21,6	697,9	0,0
3/4/2006	21,6	22,2	21,2	490,6	0,0
4/4/2006	20,6	21,3	19,8	862,8	0,0
5/4/2006	20,7	21,4	20,0	832,4	0,2
6/4/2006	20,3	20,8	19,8	529,7	0,0
7/4/2006	20,1	20,4	19,8	296,5	0,2
8/4/2006	22,0	22,5	21,5	575,7	0,0
9/4/2006	20,7	21,1	20,3	348,2	26,2
10/4/2006	22,1	22,7	21,5	577,0	0,2
11/4/2006	22,7	23,4	22,0	805,7	0,2
12/4/2006	22,1	23,0	21,4	817,3	3,8
13/4/2006	21,5	22,1	20,9	669,3	0,2
14/4/2006	21,9	22,7	21,3	758,5	0,2
15/4/2006	21,9	22,6	21,4	703,7	0,6
16/4/2006	22,0	22,6	21,4	671,3	0,0
17/4/2006	20,7	21,1	20,4	266,8	17,0
18/4/2006	17,2	17,5	17,0	239,1	9,0
19/4/2006	16,8	17,0	16,5	291,0	1,0
20/4/2006	17,8	18,4	17,4	497,2	0,0
21/4/2006	18,9	19,6	18,3	610,2	0,0
22/4/2006	20,1	20,8	19,3	854,9	0,2
23/4/2006	21,5	22,2	20,8	831,2	0,0
24/4/2006	21,5	22,2	20,8	593,5	0,2
25/4/2006	21,3	22,0	20,7	495,2	0,0
26/4/2006	20,5	21,2	19,9	632,9	0,2
27/4/2006	20,5	21,3	19,9	623,0	0,0
28/4/2006	20,4	20,9	20,0	622,1	0,0
29/4/2006	20,5	21,1	19,9	475,8	0,0
30/4/2006	19,8	20,4	19,3	449,9	0,2

Apêndice S

Dados meteorológicos de maio de 2006, obtidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) pela consulta à estação automática de Viçosa (MG). Para as temperaturas instantânea (Inst), máxima (Máx) e mínima (Mín) e a radiação solar os valores são a média diária e para chuva os valores são a quantidade de chuva em (mm) por dia.

Data	Temperatura (°C)			Radiação (kJm ²)	Chuva (mm)
	Inst	Máx	Mín		
1/5/2006	20,9	21,5	20,1	704,0	2,8
2/5/2006	20,9	21,6	20,3	507,6	0,2
3/5/2006	20,7	21,3	19,9	604,6	0,2
4/5/2006	18,5	18,8	18,3	184,5	0,0
5/5/2006	18,4	19,1	17,9	491,0	0,0
6/5/2006	16,5	17,3	15,7	728,2	0,0
7/5/2006	16,8	17,4	16,0	630,1	0,2
8/5/2006	17,6	18,2	17,0	793,7	0,0
9/5/2006	18,4	18,9	18,0	404,3	0,4
10/5/2006	19,1	19,7	18,5	619,4	0,4
11/5/2006	18,9	19,5	18,4	450,0	1,2
12/5/2006	15,9	16,8	15,1	773,4	0,2
13/5/2006	16,9	17,7	16,0	689,6	0,0
14/5/2006	17,2	18,0	16,6	533,7	0,0
15/5/2006	16,6	17,3	16,0	471,7	0,2
16/5/2006	17,0	17,8	16,3	637,9	0,0
17/5/2006	16,1	17,0	15,3	682,3	0,2
18/5/2006	---	---	---	---	---
19/5/2006	---	---	---	---	---
20/5/2006	---	---	---	---	---
21/5/2006	---	---	---	---	---
22/5/2006	---	---	---	---	---
23/5/2006	18,8	19,3	18,2	442,9	2,4
24/5/2006	17,8	18,2	17,5	293,7	0,0
25/5/2006	17,2	17,5	16,8	355,5	0,0
26/5/2006	18,8	19,6	18,1	1187,0	0,0
27/5/2006	17,6	18,3	16,9	620,0	0,2
28/5/2006	21,5	22,5	20,7	1664,5	0,0
29/5/2006	19,4	20,2	18,4	1323,7	0,2
30/5/2006	16,9	17,6	16,2	908,4	0,2
31/5/2006	16,9	17,5	16,2	929,0	0,2

Os campos com “---” indicam ausência de dados das variáveis observadas.

Apêndice T

Dados de radiação solar no dias e horários de aquisição das imagens, obtidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) pela consulta à estação automática de Viçosa (MG).

Data	Hora	Radiação (kJm ²)	Data	Hora	Radiação (kJm ²)
4/3/2006	10:00	2470,0	3/5/2006	10:00	1275,0
4/3/2006	11:00	3001,0	3/5/2006	11:00	2139,0
4/3/2006	12:00	2623,0	3/5/2006	12:00	2777,0
4/3/2006	13:00	2318,0	3/5/2006	13:00	2656,0
4/3/2006	14:00	2617,0	3/5/2006	14:00	1734,0
10/3/2006	10:00	2187,0	12/5/2006	10:00	2163,0
10/3/2006	11:00	2394,0	12/5/2006	11:00	2623,0
10/3/2006	12:00	3529,0	12/5/2006	12:00	2815,0
10/3/2006	13:00	3432,0	12/5/2006	13:00	2744,0
10/3/2006	14:00	2976,0	12/5/2006	14:00	2418,0
17/3/2006	13:00	3656,0	18/5/2006	10:00	---
17/3/2006	14:00	2568,0	18/5/2006	11:00	---
17/3/2006	15:00	2247,0	18/5/2006	12:00	---
17/3/2006	16:00	1908,0	18/5/2006	13:00	---
17/3/2006	17:00	1166,0	18/5/2006	14:00	---
21/3/2006	10:00	2633,0	20/5/2006	10:00	---
21/3/2006	11:00	2210,0	20/5/2006	11:00	---
21/3/2006	12:00	1971,0	20/5/2006	12:00	---
21/3/2006	13:00	1830,0	20/5/2006	13:00	---
21/3/2006	14:00	2500,0	20/5/2006	14:00	---
25/4/2006	10:00	1201,0			
25/4/2006	11:00	1751,0			
25/4/2006	12:00	1500,0			
25/4/2006	13:00	2093,0			
25/4/2006	14:00	1001,0			

Os campos com "----" indicam ausência de dados na data e horário da variável observada.