

LUCAS DE PAULA CORRÊDO

**USO DE SENSORES ÓTICOS PARA DETERMINAÇÃO DA TAXA VARIADA DE
ADUBAÇÃO NITROGENADA EM *Brachiaria brizantha* cv. XARAÉS**

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
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C817u
2017 Corrêdo, Lucas de Paula, 1989-
 Uso de sensores óticos para determinação da taxa
variada de adubação nitrogenada em *Brachiaria*
brizantha cv. Xaraés / Lucas de Paula Corrêdo. - Viçosa,
MG, 2017.
 ix, 53f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador : Francisco de Assis de Carvalho Pinto.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.

Referências bibliográficas: f.45-49.

1. Agricultura de precisão. 2. Fertilizantes
nitrogenados. 3. *Brachiaria brizantha* - Produtividade.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 631.3

LUCAS DE PAULA CORRÊDO

**USO DE SENSORES ÓTICOS PARA DETERMINAÇÃO DA TAXA VARIADA DE
ADUBAÇÃO NITROGENADA EM *Brachiaria brizantha* cv. XARAÉS**

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: 14 de março de 2017.

Vanessa Castro Figueiredo

Domingos Savio Queiroz
(Coorientador)

Francisco de Assis de Carvalho Pinto
(Orientador)

Aos meus pais Maria e Jorge,
meus maiores entusiastas
e exemplos de caráter.

DEDICO

*“A mente que se abre
a uma nova idéia,
jamais voltará ao seu
tamanho original.”
(Albert Einstein)*

AGRADECIMENTOS

Talvez essa seja a página mais gratificante a ser escrita neste trabalho, devido a importância que as pessoas que serão citadas tiveram em cada etapa de seu desenvolvimento, contribuindo direta e indiretamente para meu crescimento pessoal e profissional.

Início agradecendo e dedicando meu trabalho a Deus. Tenho fé que esteve presente em todas as etapas. Seja em minha coleta de dados, fazendo-se presente na natureza e minha mente, ou através das pessoas, que citarei a seguir, bons resultados e conquistas.

Ao professor Francisco, pela orientação, apoio, confiança e ensinamentos, não apenas profissionais, mas também pessoais, como moral e ética.

Ao Dr. Domingos Savio, pelas essenciais contribuições e orientações, sendo imprescindível no início e durante o desenvolvimento do experimento.

Ao professor Domingos Sárvio, pela amizade, confiança e conselhos.

Aos amigos, Gabriel Medeiros Abrahão, pelas enriquecedoras conversas sobre ciência e engenharia, seja em um café ou em um bar (onde as melhores idéias surgiam), e ensinamentos, principalmente em programação; Marcelo “Pastel”, Vitor, Nina e Jéssica pela amizade e ajuda; Gustavo “Ganso” pelo auxílio quando o “sistema travava”; e aos companheiros e grandes amigos da MEC, pela boa convivência diária Dinha, Gustavão, Emanuel, Amélia, Adolfo, Marco, Flora, Greg, Paraná, Catatau, Marconi, Bruno, Thiagos, Tião, Remo, Juliana, Flavinho, Ely, Bahia, Larissa, Nara e Túlio.

À Mozart e Pink Floyd por potencializarem meu poder de concentração.

À EPAMIG e principalmente às pessoas da empresa, Vanessa, Regina, Guilherme, Nivaldo, Sérgio, Zé Lopes, Zé do Carmo, Jardel, Geraldo e Sadaaki, pelo auxílio e amizade.

Ao professor Edênio ao Sr. Mário do departamento de Zootecnia pela colaboração.

E aos amigos de república e amigos de Viçosa, pela prazerosa convivência e amizade.

BIOGRAFIA

LUCAS DE PAULA CORRÊDO, filho de Jorge Luiz Corrêdo e Maria Gomes Barros de Paula Corrêdo, nasceu em Muriaé, Minas Gerais, no dia 05 de abril de 1989.

Em março de 2009 iniciou o curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), obtendo o título de Engenheiro Agrícola e Ambiental em agosto de 2014.

Em março de 2015 ingressou no curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na UFV, na linha de pesquisa Agricultura de Precisão, submetendo-se a defesa de dissertação em março de 2017.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
I. INTRODUÇÃO GERAL	1
CAPÍTULO 1	4
RESUMO	4
ABSTRACT	5
1.1 INTRODUÇÃO	6
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	9
1.2.1 Implantação do Experimento	9
1.2.2 Variável espectral: estimativa do teor de clorofila foliar.....	13
1.2.3 Determinação da produtividade, do teor de N foliar e da proteína bruta.....	14
1.2.4 Análises estatísticas	15
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
1.3.1 Caracterização climática	16
1.3.2 Desenvolvimento vegetal	17
1.3.3 Adubação nitrogenada e produtividade	20
1.4 CONCLUSÕES	27
CAPÍTULO 2	28
CHAPTER 2	29
2.1 INTRODUÇÃO	30
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	33
2.2.1 Implantação do experimento	33
2.2.2 Obtenção das variáveis espectrais	34
2.2.3 Processamento das imagens e extração dos índices de vegetação	35
2.2.4 Análises estatísticas	35
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
2.3.1 Estudo de correlação SPAD x Índices de vegetação em escala de dossel	36
2.3.2 Índices de vegetação como variável espectral para recomendação de adubação nitrogenada a taxa variada através do NSI.....	39
2.4 CONCLUSÕES	44
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
4. APÊNDICES	50

RESUMO

CORRÊDO, Lucas de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, março de 2017. **Uso de sensores óticos para determinação da taxa variada de adubação nitrogenada em *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés.** Orientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Coorientadores: Domingos Savio Queiroz e Domingos Sárvio Magalhães Valente.

A compreensão da variabilidade espacial e temporal de um determinado atributo do solo ou das plantas é essencial para atingir as almejadas eficiências produtiva e econômica, por meio da aplicação de técnicas de agricultura de precisão. O Brasil, como um dos líderes mundiais de produção de carne bovina, busca alcançar eficiência e sustentabilidade na atividade. O maior custo de produção dessa atividade é a alimentação do rebanho, composta principalmente por forragem. Entre os macronutrientes necessários à maior produtividade de plantas forrageiras destaca-se o nitrogênio (N), essencial para a síntese de clorofila e, muitas vezes, aplicado de forma ineficiente. O uso de clorofilômetros portáteis e câmeras comuns para realizar diagnósticos nutricionais têm sido foco de estudo em diversas culturas agrícolas, por serem aparelhos de fácil manuseio, baixo custo e principalmente, por poderem fornecer um diagnóstico rápido e preciso do teor de N foliar, possibilitando assim a aplicação de N a taxas variadas. Esse trabalho teve como objetivos avaliar a produtividade de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés sob adubação à taxa variada utilizando a metodologia do índice de suficiência de nitrogênio (NSI), utilizando o clorofilômetro portátil SPAD-502 para estimar o teor de N foliar e avaliar seu uso para aplicação de adubação à taxa variada em pastagens de Xaraés. Além disso, teve por objetivo avaliar o uso de uma câmera comum para estimar o *status* de N foliar por meio de diferentes índices de vegetação coloridos (IVC). O trabalho foi desenvolvido no município de Leopoldina-MG em área consolidada com capim Xaraés, onde, *a priori*, foram avaliados três NSIs (0,85; 0,90 e 0,95) com uso do clorofilômetro. Após isso, avaliou-se a correlação dos resultados obtidos com os IVCs calculados a partir de imagens digitais obtidas com uma câmera comum. A aplicação de adubo nitrogenado a taxa variada obteve mesma produtividade que o manejo convencional com aplicação de doses fixas, resultando em economia no uso do insumo. A economia com uso de uréia chegou a 64% no período seco e 59% no período chuvoso. Além disso, a eficiência de uso de N foi maior para o NSI de 0,85, produzindo, estatisticamente, mesma quantidade de matéria seca que os outros tratamentos, incluindo o tratamento a dose única de N. O uso de câmera convencional no diagnóstico do *status* de N foliar obteve correlação

significativa com as leituras de SPAD para três índices de vegetação, entre os sete testados. Concluiu-se com esse estudo que o manejo de pastagens de Xaraés com aplicação de adubo nitrogenado a taxa variada gera economia e produtividade sustentável. Além disso, o uso de câmeras comuns em substituição ao SPAD mostrou-se eficaz para recomendação de aplicação de adubo nitrogenado, pela metodologia do NSI.

ABSTRACT

CORRÊDO, Lucas de Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2017. **Use of optical sensors to determine the variable rate nitrogen fertilization in *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés.** Adviser: Francisco de Assis de Carvalho Pinto. Co-advisers: Domingos Savio Queiroz and Domingos Sárvio Magalhães Valente.

Understanding the spatial and temporal variability of a given soil or plant attribute is essential to achieve the desired productive and economic efficiencies through the application of precision agriculture techniques. Brazil, as one of the world leaders in beef production, seeks to achieve efficiency and sustainability in the activity. The highest cost of production of this activity is the feeding of the herd, composed mainly by forage. Among the macronutrients required for higher productivity of forage plants, nitrogen (N), essential for the synthesis of chlorophyll and often inefficiently applied, stands out. The use of portable chlorophyllometers and common cameras to perform nutritional diagnoses have been the focus of study in several agricultural crops, because they are easy to handle, low cost and mainly because they can provide a fast and accurate diagnosis of foliar N content, allowing the variable rate N fertilization. The objective of this study was to evaluate the productivity of *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés fertilization at a variable rate using the methodology of the nitrogen sufficiency index (NSI), using the portable chlorophyllometer SPAD-502 to estimate the leaf N content and to evaluate its use for fertilizer application at a varied rate in Xaraés pastures. In addition, it aimed to evaluate the use of a common camera to estimate the status of N foliar by means of different color vegetation indices (IVC). The work was carried out in the municipality of Leopoldina-MG in a consolidated area with Xaraés grass, where three NSIs (0.85, 0.90 and 0.95) were evaluated a priori using chlorophyll meter. After that, we evaluated the correlation of the results obtained with the IVCs calculated from the digital images obtained with a common camera. The application of nitrogen fertilizer at varied rates obtained the same productivity as the conventional management with fixed dose application, resulting in savings in the use of the input. The economy with the use of urea reached 64% in the dry period and 59% in the rainy season. In addition, the efficiency of N use was higher for the NSI of 0.85, producing, statistically, the same amount of dry matter as the other treatments, including the single dose treatment of N. The use of conventional camera in the diagnosis of N foliar status obtained a significant correlation with the SPAD readings for three vegetation indices among the seven

tested. In addition, the use of common cameras in place of the SPAD proved to be effective for the application of nitrogen fertilizer, according to the NSI methodology.

I. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é um país essencialmente agrícola com dimensões continentais. As pastagens, entre produtivas e degradadas, ocupam cerca de 172,3 milhões de hectares (IBGE, 2007). Número alcançado principalmente como consequência da extensão do rebanho bovino brasileiro, que em 2014 atingiu 212,3 milhões de cabeças de gado, mantendo o país em segundo lugar no ranking mundial, atrás apenas da Índia (IBGE, 2014).

A pecuária, principalmente a de corte, tradicionalmente é realizada sem exigência de recursos tecnológicos mais sofisticados e de rigorosa preparação da área, quando comparada a outras atividades como a produção de grãos. Ou seja, é possível a produção de forma extensiva, embora com baixa eficiência, tornando a pecuária brasileira extremamente competitiva frente a outros países onde a atividade também é forte, como EUA, Austrália e alguns países europeus. Porém, nestes predomina-se o sistema intensivo, com maior demanda de tecnologia e mão-de-obra, onerando os custos de produção. Devido a essas características, no Brasil, áreas de difícil acesso e de baixa fertilidade, preferencialmente são destinadas para a formação de pastagens. As principais consequências desses fatos tem sido o aumento da área de pastagens degradadas e a condenação da pecuária extensiva como uma atividade de impacto ambiental elevado (Dias-Filho, 2014).

Dentre os compromissos assumidos pelo Brasil na COP 21 (Conferência das Partes), está o comprometimento de recuperar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas. Esta e outras ações visam cumprir a meta mundial de reduzir em 43% as emissões de gases de efeito estufa até 2030 (ONU, 2015).

Na bovinocultura a nutrição é o item de maior custo de produção (Valadares Filho et al., 2009). As pastagens constituem o sistema mais prático e econômico de nutrição desses animais, sendo fundamental na prática da pecuária extensiva. Entretanto, devido à maior rentabilidade de diversas culturas agrícolas, terras ocupadas por pastagens estão sendo substituídas por agricultura ou sendo abandonadas em situação de degradação, devido à diminuição da fertilidade do solo.

A fim de tornar a pecuária economicamente mais competitiva frente a outras atividades, ou até mesmo a realização de sistemas de integração lavoura-pecuária, tendo a sustentabilidade da atividade como objetivo, é necessário o manejo adequado da pastagem. Portanto, a aplicação de fertilizantes de forma agrônômica e ambientalmente correta se faz necessária no manejo, não somente com o intuito de fornecer uma alimentação de qualidade

ao rebanho bovino, mas também com uma produtividade que permita aumentar a eficiência do uso da terra pelos animais.

Entre as pastagens mais plantadas no território brasileiro, a *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés é uma das espécies mais difundidas, devido principalmente ao seu elevado valor nutritivo, maior produção de forragem, rápida rebrota após o pastejo, resistência moderada à cigarrinha-das-pastagens, maior capacidade de suporte durante o período chuvoso e maior produtividade anual quando comparada a variedades semelhantes, como a cv. Marandu (EMBRAPA, 2004).

A adubação é um dos principais fatores responsáveis pelo aumento de produtividade de plantas forrageiras. Entre os macronutrientes necessários ao desenvolvimento vegetal, o nitrogênio (N) apresenta-se como de suma importância. Culturas que crescem com deficiência de nitrogênio apresentam capacidade fotossintética reduzida, rendimentos mais baixos no ganho de biomassa e menor qualidade do produto (Basso et al., 2015). Além disso, o N está sujeito a processos físico-químicos naturais como volatilização, lixiviação e biológicos, por meio da imobilização por microorganismos.

O elevado custo de fertilizantes nitrogenados e a degradação ambiental causada pelo excesso de aplicação são as razões que levam produtores a buscar elevada eficiência de uso de nitrogênio (NUE), definida como a razão entre a produtividade da cultura e a taxa de N aplicado. Para auxiliar a tomada de decisões acerca da aplicação de fertilizantes nitrogenados, evidencia-se a importância de se obter informações sobre o status de N da cultura (Li et al., 2010). Portanto, a otimização dos níveis de nitrogênio é essencial para a realização de fotossíntese com eficiência, elevando a produtividade da planta e reduzindo custos de produção (He et al., 2016).

Frequentemente, a recomendação de adubação nitrogenada é realizada após a análise laboratorial de amostras foliares da cultura retiradas nas propriedades. Procedimentos como estes, embora precisos, possuem limitações relativas a tempo de execução e custos, evidenciando a importância da adoção de metodologias indiretas que permitam efetuar avaliações em tempo real (Simões et al., 2015). No entanto, habitualmente produtores realizam adubação em doses fixas em toda a área apesar da variabilidade espacial dos parâmetros da cultura e do solo nos campos de produção, obtendo uma baixa NUE.

A fim de se obter uma elevada NUE, as variabilidades temporal e espacial do N no solo devem ser levadas em consideração para a tomada de decisão quanto às dosagens a serem aplicadas. A Agricultura de Precisão permite aos produtores obter aumento de

produtividade, redução no uso de insumos e minimização de impactos ambientais por meio de práticas de gestão em sítio específico, identificando e analisando as variabilidades temporal e espacial de atributos específicos que determinam a produtividade das culturas em campo (Robertson et al., 2012; Singh et al., 2011; Basso et al., 2013).

Portanto, práticas de gestão agrícola devem apontar para o uso eficiente de N para alcançar a produção de culturas de alto rendimento e de alta qualidade com o mínimo impacto ambiental. Dessa maneira, nesse estudo propõe-se determinar a taxa variada de adubação nitrogenada em capim Xaraés com base no Índice de Suficiência do Nitrogênio (NSI), utilizando técnicas de sensoriamento remoto, e verificando sua eficiência para a recomendação da adubação nitrogenada da pastagem.

Os resultados desse estudo deverão auxiliar o monitoramento em tempo real do nível de N foliar em pastagens de Xaraés, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, levando à maior precisão na aplicação de fertilizantes nitrogenados.

Esta dissertação foi estruturada em dois capítulos. O Capítulo 1 teve como objetivo avaliar a produtividade do capim Xaraés com aplicação de N a taxa variada com base no Índice de Suficiência do Nitrogênio (NSI). O Capítulo 2 teve como objetivo avaliar o uso de uma câmera comum para realizar recomendação de adubação nitrogenada.

CAPÍTULO 1

PRODUTIVIDADE DE PASTAGENS DE *Brachiaria brizantha* cv. XARAÉS SOB ADUBAÇÃO NITROGENADA A TAXA VARIADA

RESUMO

O uso inadequado de adubos nitrogenados acarreta em prejuízos econômicos e ambientais no manejo de pastagens, principal fonte de alimentação do rebanho bovino brasileiro. Nesse contexto, a agricultura de precisão visa, através de técnicas de manejo em sítio específico, atender às necessidades nutricionais das forrageiras levando em consideração a variabilidade temporal e espacial dos atributos das plantas em toda a área. A leitura do teor de clorofila foliar em conjunto com a metodologia de utilização de um índice de suficiência de nitrogênio (NSI) têm sido utilizados como critério de manejo de adubação nitrogenada de diversas culturas. Tendo esse fato em vista, o objetivo desse trabalho foi avaliar o uso do clorofilômetro portátil utilizando diferentes NSI's para realizar recomendação de adubação nitrogenada a taxa variada em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés. O experimento foi implantado em área consolidada com capim Xaraés, onde os tratamentos se constituíram de três NSI's (0,85; 0,90 e 0,95) a serem testados para aplicação de adubação a taxa variada, testemunha (sem aplicação de N) e referência (dose fixa de 150kg ha⁻¹), totalizando cinco tratamentos e seis repetições, em delineamento inteiramente casualizado. Os tratamentos a taxa variada receberam doses complementares de N de acordo com a resposta do NSI em dois momentos específicos, a 75% e 85% de interceptação luminosa pelo dossel vegetal. Foram coletadas amostras de massa vegetal em cada parcela durante quatro ciclos de manejo em diferentes meses do ano. A partir dessas amostras foram avaliados a produtividade de massa seca (MS) vegetal e o conteúdo de N foliar assimilado pelas plantas, além da eficiência de uso de nitrogênio (NUE). Esses dados foram submetidos à análise de variância e teste Tukey para comparação de médias. Os resultados indicaram que não houve diferença significativa na produtividade de MS e de N total na MS entre os tratamentos a taxa variada, utilizando a metodologia do NSI, e o tratamento de referência. A metodologia, utilizando a própria planta como biosensor, mostrou-se adequada para o manejo da forrageira, independentemente das condições climáticas. Concluiu-se que a aplicação de adubo nitrogenado a taxa variada mostrou maior eficiência em comparação à aplicação em doses fixas, resultando em economia no uso do insumo. Além disso, a eficiência no uso de N em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés foi maior para NSI de 0,85.

Palavras-chave: Agricultura de precisão. Índice de Suficiência de Nitrogênio.

CHAPTER 1

PRODUCTIVITY OF *Brachiaria brizantha* cv. XARAÉS PASTURE UNDER VARIABLE RATE NITROGEN FERTILIZATION APPLICATION

ABSTRACT

The use of nitrogen fertilizers causes economic and environmental losses in the pasture management, the main source of feed for the Brazilian cattle herd. In this context, precision agriculture aims, through specific site management techniques, for the nutritional needs of forages taking into account the temporal and spatial variability of the plants in all area. The leaf chlorophyll content data together with a methodology for the use of a nitrogen sufficiency index (NSI) has been used as a criterion for the nitrogen fertilization of several crops. Considering this fact, the objective of this work was to evaluate the use of the portable chlorophyllometer adopting different NSI to perform the recommendation of nitrogen fertilization at a variable rate in pastures of *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés and to evaluate its productivity. The experiment was carried out in a consolidated area with Xaraés grass, where the treatments consisted of three NSI's (0,85; 0,90 e 0,95) to be tested for fertilizer application at a variable rate, control (without N application) and reference (application of a fixed rate of 150 kg ha⁻¹ of N fertilizer) composing of five treatments and six replicates, in a completely randomized design. Varied rate treatments received complementary doses of N according to the NSI response at two specific times, at 75% and 85% light interception by the plant canopy. Samples of plant mass were collected in each plot during four management cycles in different months of the year. From these samples, the dry matter (MS) and leaf N contents assimilated by the plants were evaluated, in addition to the nitrogen use efficiency (NUE). These data were submitted to analysis of variance and Tukey test for comparison of means. The results indicated that there was no significant difference in the productivity of DM and total N between the treatments at variable rate and the reference treatment, using the NSI methodology. The methodology, using the plant as a biosensor, was adequate for forage management, regardless of climatic conditions. It was concluded that the application of nitrogen fertilizer at varied rates showed higher efficiency in comparison to the application in fixed doses, resulting in savings in the use of the input. In addition, the efficiency in the use of N in pastures of *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés was higher for NSI than 0.85.

Keywords: Precision agriculture. Nitrogen Sufficiency Index.

1.1 INTRODUÇÃO

O nitrogênio (N) é o mineral de maior importância para o crescimento e produção de biomassa em pastagens etambém na qualidade da alimentação fornecida a ruminantes, principalmente em sistemas de manejo extensivo.O suprimento insuficiente de N para as culturas em geral leva à formação de folhas menores, com menor teor de clorofila e, consequentemente, menor produção de biomassa e de proteína bruta, diminuindo a qualidade e a eficiência da atividade agropecuária (Wang et al., 2014; Adhikari et al., 1999; Prasertsak e Fukai, 1997). Entretanto, a aplicação excessiva de adubos nitrogenados pode levar a problemas ambientais, como a contaminação do lençol freático e poluição atmosférica (Grace et al., 2011; Basso et al., 2016), além disso causa prejuízos econômicos e diminuição da eficiência no uso desse insumo.

Para atingir maior eficiência econômica e ambiental, o ideal é levar em consideração a variabilidade espacial e temporal das necessidades nutricionais das plantas em toda a área. Esse conceito introduz a aplicação de técnicas de manejo em sítio específico, consistindo na prática da agricultura de precisão.

A reflectância espectral da folha ou mesmo do dossel se correlaciona com o status de N das culturas agrícolas (Li et al., 2014) devido a formação das moléculas de clorofila. Este fato, associado a técnicas de agricultura de precisão, tem sido explorado como critério de manejo para aplicação de adubos nitrogenados. Instrumentos como clorofilômetros, sensores multiespectrais, sensores hyperespectrais e câmeras digitais têm sido utilizados na agricultura de precisão para monitorar o desenvolvimento das plantas, no diagnóstico do status de N e no manejo das culturas em sítio específico (Wang et al., 2014), otimizando o processo de produção por meio de economia no uso de insumos agrícolas.

O SPAD-502 (Minolta Corporation, Japan) mede o teor de clorofila foliar de forma não destrutiva por meio de um sensor de contato, quantificando o status de N de forma indireta. O aparelho tem sido utilizado em muitos trabalhos, para diversas culturas agrícolas, com o intuito de auxiliar na tomada de decisão sobre a aplicação de adubos nitrogenados (Netto et al., 2005; Pagola et al., 2009; Saberioon et al., 2013; Villar et al., 2015).

O instituto americano Potash & Phosphate (PPI) publicou uma metodologia para prescrição de N a taxa variada com base na comparação do teor de clorofila de uma parcela de referência com o teor de clorofila das plantas da área onde deseja-se aplicar adubo nitrogenado, utilizando o SPAD-502 em cultivos de milho e trigo. Na parcela de referência, de dimensões reduzidas e localizada próxima a área a ser tratada, é aplicada a dose máxima

usual. Esta comparação é realizada pelo cálculo do Índice de Suficiência de Nitrogênio (NSI). Quando esse for menor que uma porcentagem pré-determinada, realiza-se a aplicação de N (Francis e Piekielek, 1999).

O manejo de N apresenta impacto direto na produtividade e desempenho econômico da atividade pecuária, uma vez que é grande responsável pelo valor nutricional da forragem (Andrade et al., 2003). Tendo em mente que as plantas como organismos vivos possuem necessidades nutricionais diferentes umas das outras em determinado momento, ainda que na mesma área e que sejam da mesma espécie, a aplicação de N a taxa variada é a maneira mais eficaz e correta de manejo.

Entre as variedades de plantas forrageiras mais utilizadas no Brasil, destaca-se a *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, lançada em 2002 pela Embrapa Gado de Corte. Trata-se de uma variedade com elevado valor nutritivo, maior produção de forragem, rápida rebrota após o pastejo, resistência moderada à cigarrinha-das-pastagens, maior capacidade de suporte durante o período chuvoso e maior produtividade anual quando comparada a variedades semelhantes como a cv. Marandu (EMBRAPA, 2004).

Costa et al. (2015) avaliaram o estado nutricional de N a partir do conteúdo relativo de clorofila do capim Xaraés e determinaram seu índice de suficiência de nitrogênio (NSI). A correlação obtida entre as leituras de clorofila com SPAD e o teor de N foliar foi elevada, e o NSI_c determinado, para o período chuvoso, foi de 0,85, indicando que para NSI igual ou maior a esse valor, a planta não apresenta necessidade de N. Concluíram ainda que o clorofilômetro não deve ser utilizado durante a estação seca, para as condições em que o experimento foi executado, ou seja, com irrigação durante a estação seca no dia anterior e após a fertilização para diminuir a perda por volatilização.

Villar et al. (2015) avaliaram três variáveis espectrais (a leitura com um clorofilômetro portátil e dois índices de vegetação) para recomendar a adubação nitrogenada a taxa variável em *Brachiaria decumbens* utilizando o NSI e verificar a eficácia da metodologia quando comparado com aplicação de taxa fixa. Os resultados indicaram que a recomendação de adubação nitrogenada de taxa variável utilizando o NSI como parâmetro, apresentou melhores resultados do que uma taxa fixa de aplicação para a forrageira estudada. Para medições espectrais da folha, o clorofilômetro portátil foi mais adequado do que os índices de vegetação estudados para realizar recomendação de adubação nitrogenada a taxa variável em pastagens compostas por *Brachiaria decumbens*. Porém, a utilização de índices de vegetação para esse fim demonstra-se promissora devido a possibilidade de amostragem em maiores áreas, por meio de imagens e ainda devido à maior

velocidade e representatividade na obtenção de um possível diagnóstico das necessidades nutricionais da cultura, uma vez que o SPAD realiza medições pontuais.

Tendo em vista a importância da aplicação de N em pastagens com o intuito de fornecer uma alimentação de qualidade para os ruminantes, e a escassez de trabalhos científicos abordando a aplicação de técnicas de agricultura de precisão ao manejo de plantas forrageiras, esse trabalho teve por objetivos: I) avaliar o uso do clorofilômetro portátil utilizando diferentes NSI's para realizar recomendação de adubação nitrogenada a taxa variada em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés; e II) avaliar a aplicação de N a taxa variada na produtividade da forrageira.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

1.2.1 Implantação do Experimento

O experimento foi implantado no campo experimental da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) em Leopoldina-MG, no período de março a novembro de 2016, em área estabelecida com *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés com 21°28'22" (S) de latitude e 42°43'18" (W) de longitude e altitude de, aproximadamente, 187 m. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, fase terraço, textura franco argiloso.

Segundo Köpen e Geiger, o clima da região de Leopoldina é classificado como Aw, definido como tropical úmido, com inverno seco e verão chuvoso. Os dados diários de radiação solar foram obtidos da estação meteorológica do INMET mais próxima, em Muriaé – MG, e os dados de precipitação foram coletados com pluviômetro localizado na sede da fazenda.

No dia 14 de março de 2016 foi realizada a demarcação da área experimental (Figura 1.1) e a amostragem de solo. Foram obtidas seis amostras compostas, uma para cada coluna onde foram alocadas as parcelas. As amostragens foram realizadas em coluna pois o experimento seria desenvolvido com delineamento em Blocos Casualizados. No entanto, a semelhança na análise química do solo das colunas, permitiu que o experimento fosse conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. Os tratamentos foram alocados em parcelas de 4 m x 4 m, espaçadas 1 m entre si (Figura 1.2). Cada amostra composta foi obtida a partir de quatro amostras simples coletadas na camada de 0 a 20 cm, em pontos aleatórios ao longo das colunas, com uso de um amostrador de solo motorizado a gasolina BT 45 da Stihl.

Entre os dias 15 e 20 de março foi realizado o rebaixamento do pasto por pastejo. Feito isso, foi realizado um corte de uniformização com roçadora tratorizada a 5 centímetros do solo, retirando o excesso de massa vegetal das parcelas.

A partir dos resultados laboratoriais da análise de solo (Apêndice A), foi realizada a correção de fertilidade conforme recomendação da 5ª aproximação (Ribeiro et al., 1999), com exceção do nitrogênio. No dia 21 de março, cada parcela recebeu as doses de 500 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, e as doses de adubo nitrogenado correspondentes a cada parcela, distribuídas uniformemente em cobertura. Além disso, realizou-se calagem para a correção de acidez no solo, com dose de 1,3 t ha⁻¹ (PRNT =

76%), aplicada somente no início do experimento. Devido a particularidades na implantação do experimento, foi necessária a realização da calagem no mesmo dia da adubação.

Os tratamentos foram organizados da seguinte maneira:

- T_0 : parcela testemunha, sem aplicação de adubo nitrogenado;
- T_{REF} : parcela de referência, com aplicação de 150 kg ha^{-1} de adubo nitrogenado em dose única na forma de uréia;
- T_{85} : parcela manejada com adubação a taxa variada, utilizando NSI igual a 0,85.
- T_{90} : parcela manejada com adubação a taxa variada, utilizando NSI igual a 0,90;
- T_{95} : parcela manejada com adubação a taxa variada, utilizando NSI igual a 0,95.

Inicialmente foi aplicado 50 % da dose única em cada parcela dos tratamentos a taxa variada, ou seja, 75 kg ha^{-1} . Ao atingir 75 e 85 % de interceptação luminosa pelos dosséis das parcelas de referência, foi calculado o NSI dessas parcelas. Quando esse foi inferior ao NSI do tratamento, uma dose de 25 % da dose da parcela de referência (equivalente a $37,50 \text{ kg ha}^{-1}$) foi aplicada. As doses foram aplicadas sempre no final do dia, a fim de minimizar os efeitos de volatilização e lixiviação da uréia.



Figura 1.1 – Área experimental com parcelas demarcadas.

O cálculo do NSI foi realizado conforme a Equação 1.1 (Francis e Piekielek, 1999):

$$NSI = \frac{VS_{ptv}}{VS_{pr}} \quad (1.1)$$

em que:

NSI – índice de suficiência de nitrogênio;

VS_{ptv} – variável espectral na parcela com aplicação a taxa variada; e

VS_{pr} – variável espectral na parcela de referência.

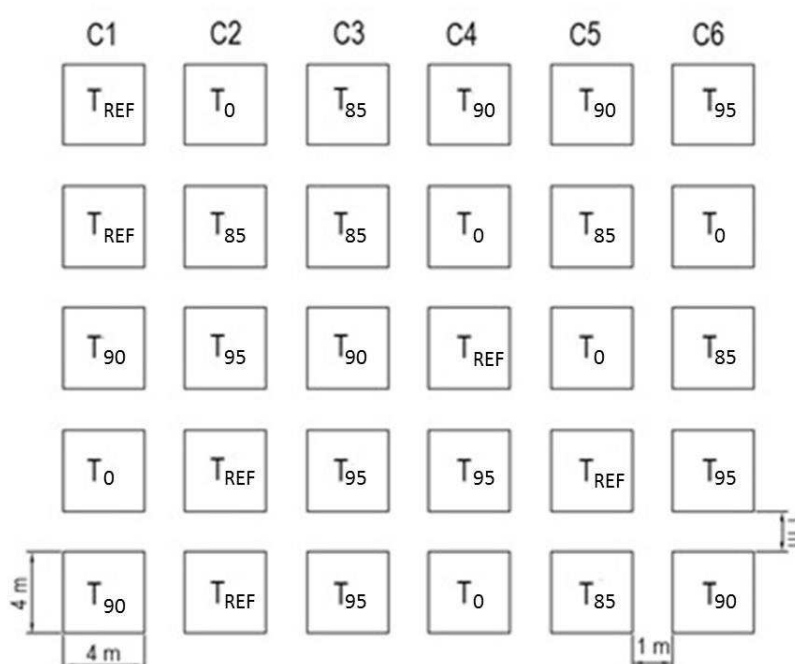


Figura 1.2: Croqui da área experimental.

O desenvolvimento das plantas foi monitorado com uso de um ceptômetro AccuPAR, modelo LP-80 (Decagon) (Figura 1.3), por meio da quantificação da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (IL) pelo dossel vegetal, sendo realizadas quatro medidas dentro de cada parcela de referência em pontos aleatórios, considerando a IL como a média dos pontos amostrados em cada parcela. Além disso, utilizou-se uma régua de metal graduada a fim de monitorar a altura das plantas. Foram realizadas 30 medições dentro de cada parcela, considerando a altura das plantas como a média dos pontos amostrados. O monitoramento foi realizado a cada dois dias. Ao atingir 75 e 85% de IL pelas plantas das parcelas de referência, as plantas dos tratamentos T₈₅, T₉₀ e T₉₅ poderiam receber adubação complementar, caso fosse necessário.



Figura 1.3 – Medição de interceptação luminosa.

Assim que as plantas das parcelas de referência atingiram 95 % de IL, a forrageira foi colhida realizando um corte a 15 cm de altura em relação ao solo, em uma área de 2 m x 2 m, localizada no centro de cada parcela. A biomassa foi armazenada em sacos para posteriores análises e foi realizado um corte de uniformização da vegetação restante com uso de roçadeira costal, respeitando os 15 cm de altura da colheita previamente realizada, a fim de reiniciar um novo ciclo. As recomendações de manejo do capim-xaraés com base na interceptação de 95% da interceptação luminosa apontam altura de entrada de 30 cm e saída aos 15 cm (Pedreira et al., 2009).

Esses procedimentos foram realizados por quatro ciclos. A Tabela 1.1 apresenta as datas em que foram realizadas as coletas das variáveis espectrais de acordo com a IL das plantas das parcelas de referência. Após a realização de um corte, os mesmos critérios de avaliação foram adotados, iniciando com a adubação nitrogenada de dose única de 150 kg ha⁻¹ nas parcelas de referência e 75 kg ha⁻¹ nas parcelas que receberam os três tratamentos descritos anteriormente, acrescidas de 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio em todas as parcelas. Após a colheita do primeiro ciclo de manejo, os cortes de uniformização foram realizados a 15 cm do solo.

Após a realização de três ciclos, decidiu-se realizar o quarto em período chuvoso (outubro a novembro), para avaliar o comportamento da adubação a taxa variada em períodos seco e úmido. Portanto, durante o período de 20 de junho a 24 de outubro a área permaneceu em descanso, sendo realizado apenas um corte de manutenção em agosto. No

dia 24 de outubro, foi realizado novo corte de uniformização a 15 cm de altura em relação ao solo, dando início ao quarto ciclo de manejo.

Tabela 1.1: Datas de início e término de cada ciclo de manejo e dos registros das variáveis espectrais de acordo com a interceptação luminosa (IL) das plantas da parcela de referência (T_{REF})

	1º ciclo (CM1)	2º ciclo (CM2)	3º ciclo (CM3)	4º ciclo (CM4)
Início	21/03/2016	04/05/2016	27/05/2016	24/10/2016
75% de IL	14/04/2016	13/05/2016	03/06/2016	08/11/2016
85% de IL	21/04/2016	18/05/2016	07/06/2016	16/11/2016
95% de IL	02/05/2016	26/05/2016	20/06/2016	21/11/2016
Término	03/05/2016	26/05/2016	20/06/2016	21/11/2016

1.2.2 Variável espectral: estimativa do teor de clorofila foliar

A necessidade de adubação nitrogenada dos tratamentos T_{85} , T_{90} e T_{95} foi avaliada através do NSI, que teve como variável espectral a estimativa do teor de N foliar utilizando um clorofilômetro portátil SPAD-502 (Minolta Corporation, Japan). Em cada parcela foram realizadas 30 leituras, sendo cada valor medido em diferentes folhas selecionadas aleatoriamente ao longo de cada parcela, obedecendo ao critério de serem folhas novas e completamente expandidas, com o equipamento posicionado na porção intermediária da folha (Figura 1.4). Após a realização de 30 leituras, calculou-se a média que representou o teor de clorofila das plantas da parcela naquele momento.



Figura 1.4 – Medição de clorofila com o equipamento SPAD.

1.2.3 Determinação da produtividade, do teor de N foliar e da proteína bruta

Após a colheita das plantas ao atingirem 95% de IL, a massa vegetal de cada parcela colhida no campo foi pesada e homogeneizada. Após esse procedimento, foram retiradas subamostras com aproximadamente 300 g, utilizando balança com precisão de 0,001 g, e acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados. Posteriormente o material foi levado para secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, até obtenção de massa constante. Por fim, procedeu-se com a pesagem do material em balança de mesma precisão, constituindo as amostras secas ao ar (ASA).

Após a realização do procedimento de secagem parcial das amostras, o material foi processado em dois moinhos de facas com peneiras de 2 e 1 mm, a fim de reduzir o tamanho das partículas, padronizando a superfície específica do material, e promovendo assim, melhor homogeneização para uma sub-amostragem.

Foram retiradas amostras de aproximadamente 2 g da ASA e acondicionadas em pesa-filtros, distribuindo uniformemente as amostras a fim de expor o máximo de área à secagem. Esse material foi levado à estufa sem circulação forçada de ar para secagem definitiva a 105°C, por 16 horas. Após a secagem, o material foi colocado em dessecador até a estabilização da temperatura. Por fim, foi realizada nova pesagem em balança com precisão de 0,0001 g, constituindo assim a amostra seca em estufa (ASE). A partir dos resultados de ASA e ASE foi possível determinar o percentual de massa seca (MS) (Equação 1.2) e a produtividade de MS por unidade de área (Equação 1.3), a partir da massa inicial colhida no campo (MN).

$$\%MS = \frac{\%ASA \times \%ASE}{100} \quad (1.2)$$

$$MS = \frac{\%MS \times MN}{100} \quad (1.3)$$

em que:

%MS – porcentagem de massa seca;

%ASA – porcentagem de amostra seca ao ar;

%ASE – porcentagem de amostra seca em estufa;

MN – massa de amostra em termos de matéria natural (kg/ha);

MS – produtividade de massa seca (kg/ha).

Com o intuito de avaliar o nitrogênio total ao final de cada ciclo, foi realizada a determinação de N total pelo método de Kjeldahl, onde sub-amostras de 200 mg passaram por processos de digestão, destilação do N e titulação (Detmann et al., 2012).

De posse desses resultados foi possível quantificar a porcentagem de N presente na matéria seca (%N_{MS}) e estimar o percentual de proteína bruta com base na matéria seca (%PB_{MS}). Os cálculos foram realizados utilizando as Equações de 1.4 a 1.6.

$$\%N_{ASA} = \frac{(V-B) \times N_v \times 14 \times 100}{ASA} \quad (1.4)$$

$$\%N_{MS} = \frac{\%N_{ASA}}{\%ASE} 100 \quad (1.5)$$

$$\%PB_{MS} = \%N_{MS} \text{ fc} \quad (1.6)$$

em que,

%N_{ASA} – percentual de nitrogênio com base na amostra seca ao ar;

V – volume da solução de ácido clorídrico utilizado na titulação (mL);

B – volume de ácido clorídrico utilizado na titulação do “branco” (mL);

N_v – normalidade verdadeira do ácido clorídrico;

ASA – massa de amostra seca ao ar (mg);

%N_{MS} – percentual de nitrogênio com base na matéria seca;

%ASE – percentual de amostra seca em estufa;

%PB_{MS} – percentual de proteína bruta com base na matéria seca;

fc – fator de conversão da concentração de N em equivalentes protéicos, sendo recomendado 6,25.

1.2.4 Análises estatísticas

Os resultados de produtividade de massa seca (MS) e Nitrogênio total na amostra seca (N_{MS}) foram submetidos à análise de variância e teste Tukey para comparação de médias, a 5% de probabilidade, utilizando o software Rstudio (R Core Team, 2016). Além disso foi avaliado o NSI que apresentou a melhor eficiência de aplicação de N, levando em consideração a produtividade de massa seca e a quantidade de adubo nitrogenado aplicada.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

1.3.1 Caracterização climática

As Figuras 1.5 e 1.6 ilustram a variação climática durante todo o período experimental. Os dados climáticos foram coletados na estação meteorológica mais próxima, em Muriaé-MG.

O primeiro ciclo de manejo ocorreu no final de março a início de maio, e foi caracterizado por médias de temperaturas elevadas e elevada radiação solar. Foram registradas poucas precipitações com volume acumulado de 56,80 mm, ocorrendo no início e no fim do ciclo.

Os segundo e terceiro ciclos de manejo foram caracterizados por temperaturas mais amenas e com menor radiação solar, havendo predominância de tempo nublado durante este último. Durante esses períodos experimentais foi registrada uma precipitação acumulada de 26,94 mm, caracterizando-os como secos.

O último ciclo e coleta de dados foram realizados entre os meses de outubro e novembro. As temperaturas médias e radiação solar foram semelhantes ao primeiro ciclo de manejo, porém foi caracterizado pela predominância de chuvas, com volume acumulado igual 272 mm.

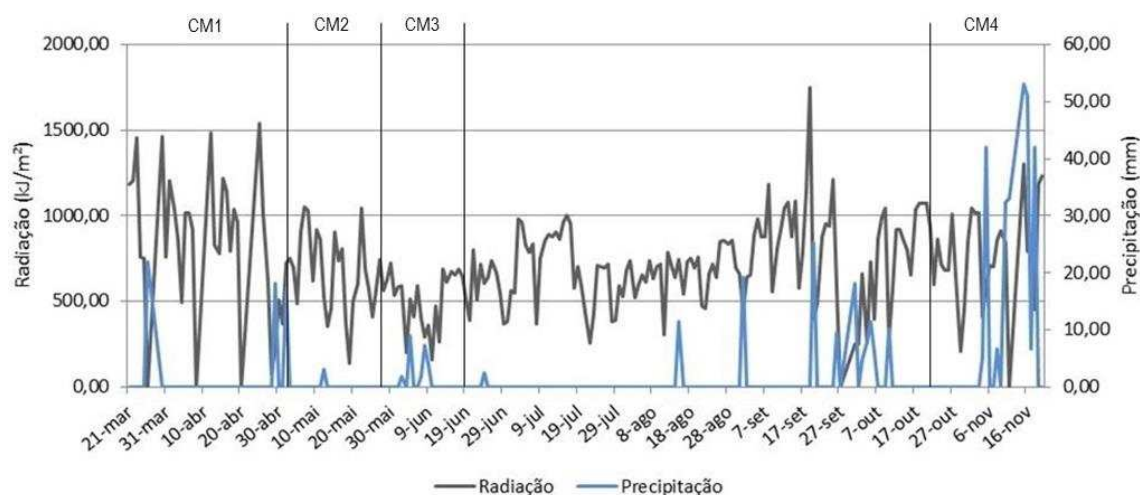


Figura 1.5: Radiação solar e precipitação pluvial durante o período experimental correspondente aos quatro ciclos de manejo (CM).

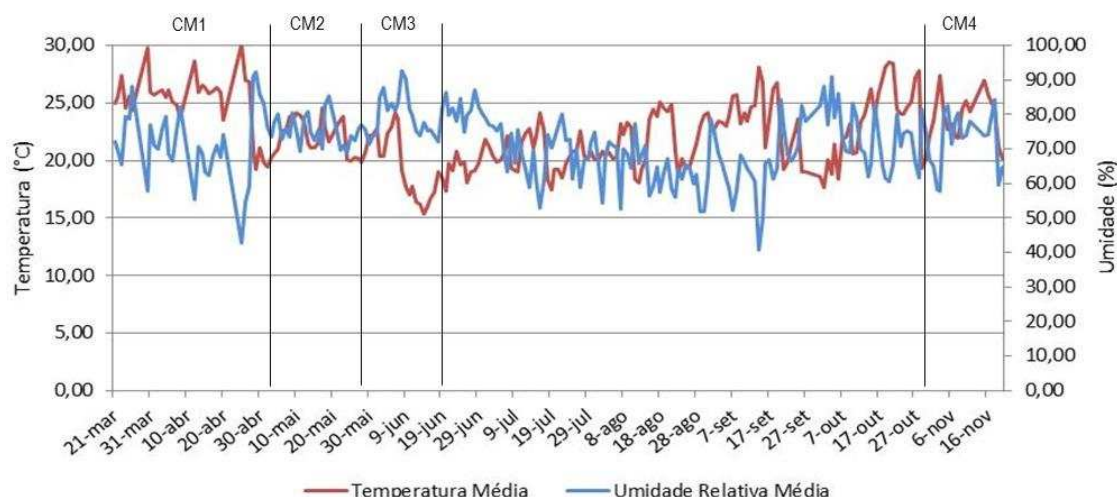


Figura 1.6: Temperatura média e Umidade relativa do ar durante o período experimental correspondente aos aos quatro ciclos de manejo (CM).

1.3.2 Desenvolvimento vegetal

Euclides et al. (2014) citam trabalhos realizados com diversos cultivares como *P. maximum* Mombaça (Carnevali et al., 2006), Tanzânia (Barbosa et al., 2007), Marandu (Giacomini et al., 2009) e *B. brizantha* Xaraés (Pedreira et al., 2007), utilizando como critério de manejo a interceptação pelas plantas de 95% de radiação fotossinteticamente ativa, para a entrada dos animais nos piquetes. Trata-se de uma estratégia empregada em gramíneas de clima temperado, e apresentou-se como válida e aplicável às gramíneas tropicais.

A Figura 1.7 ilustra a relação entre altura e IL pelo dossel vegetal, o segundo, terceiro e quarto ciclos de manejo (CM), quando iniciou-se o monitoramento da altura. Segundo Pedreira et al. (2007), a realização do pastejo em 95% de interceptação luminosa (IL) no pré-pastejo é uma excelente estratégia para a produção eficiente de forragem, evitando alterações indesejáveis na estrutura do dossel como o acúmulo excessivo de colmos e material morto em relação à folha. Segundo os mesmos autores, a altura apresenta-se como um prático indicador do nível de interceptação luminosa pelo dossel do Xaraés, sendo superior em eficiência ao manejo baseado em dias fixos. Este tipo de manejo restringe a eficiência do sistema uma vez que gera desuniformidade de respostas fisiológicas das plantas e na estrutura do dossel, afetando o consumo de forragem pelos animais e, conseqüentemente, seu desempenho (Pedreira et al., 2009). Carnevali et al. (2006) ressaltam que a altura do pasto a qual é atingida 95% de IL é específica para cada espécie de capim.

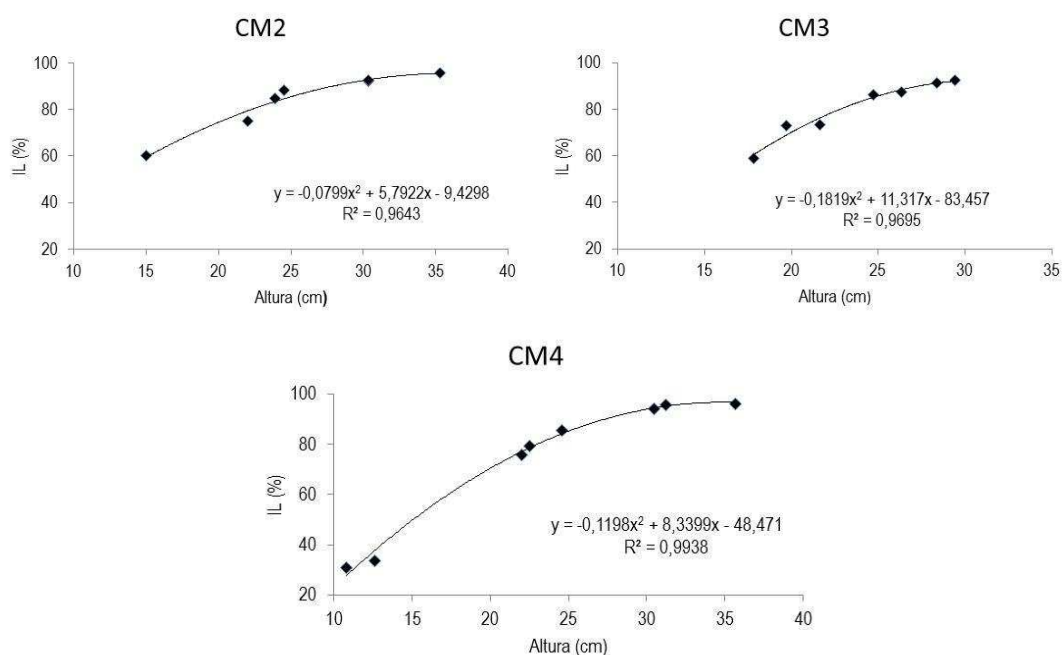


Figura 1.7: Relação entre altura e IL durante o desenvolvimento do dossel de Xaraés para cada ciclo de manejo

A Figura 1.8 ilustra a crescente interceptação de luz solar incidente pelos dosseis forrageiros durante seu desenvolvimento. Nota-se que durante o desenvolvimento, as plantas apresentaram curvas de IL com comportamento semelhante.

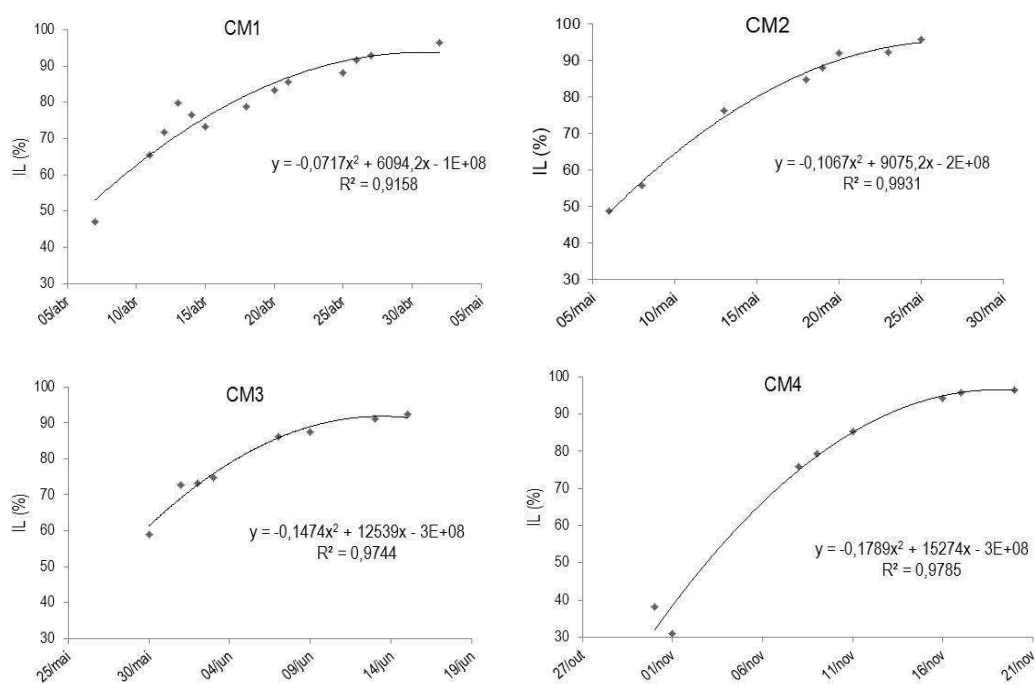


Figura 1.8: Desenvolvimento do dossel forrageiro de cada ciclo de manejo com base na interceptação luminosa (IL).

O primeiro ciclo de manejo (CM1) levou cerca de 43 dias para atingir 95% de IL. Esse fato pode ser explicado devido à severidade do primeiro corte de uniformização, a 5 cm de altura em relação ao solo, e devido à baixa precipitação pluvial ocorrida durante esse período, não havendo chuvas próximas aos dias em que foram realizadas as adubações nitrogenadas, o que pode ter dificultado a absorção do nutriente pelas plantas.

Entretanto, o desenvolvimento das plantas no CM2 e CM3 ocorreu em períodos de tempo menores, apesar da ocorrência de clima mais seco e com menor radiação solar (Figura 1.5) durante esses ciclos. A ocorrência de efeito residual das doses de N aplicadas em ciclos anteriores, corte de uniformização a 15 cm do solo, e consequente não eliminação dos meristemas apicais, além da área foliar residual após o fim do primeiro ciclo podem explicar esse fato. Além disso, durante CM2, apesar da ausência de chuvas, as temperaturas não foram inferiores a 20°C, e umidade relativa do ar oscilou entre 70 e 82%, o que pode ter contribuído para melhor absorção de N pelas plantas. No CM3 houve uma queda abrupta nas temperaturas médias para a segunda metade do ciclo (Figura 1.6), porém ocorreram precipitações pluviais logo após a realização de adubação de N a taxa variada, aos 75 e 85% de IL. Apesar da ocorrência em pequeno volume (9,02 e 12,99 mm, respectivamente), essas chuvas possivelmente contribuíram para melhor absorção do nutriente pelas forrageiras.

O quarto ciclo de manejo (CM4) foi caracterizado principalmente pelo maior volume de precipitações. Entre os dias 12 e 15 de novembro ocorreram chuvas intensas durante todo o dia, o que levou a atraso na realização da adubação correspondente aos 85% de IL, e consequentemente, atraso na colheita. Essa aplicação de N foi realizada após as chuvas, aos 90% de IL. Após isso, o desenvolvimento foi monitorado e as plantas foram colhidas após duas leituras de 95% de IL, dando um intervalo de 5 dias entre a adubação e o corte ao final do ciclo, que se encerrou 30 dias após o corte inicial de uniformização. O intuito foi desse intervalo foi permitir a absorção do N aplicado pelas plantas antes da conclusão desse período experimental.

O desenvolvimento das plantas, tanto para o período seco como para o período das águas, apresentou um padrão quadrático semelhante, com coeficientes de determinação acima de 0,91 (Figura 1.7). Ao se aproximar de 95% de IL o desenvolvimento vegetal apresentou tendência a permanecer constante, situação em que as plantas começariam a apresentar acúmulo de colmos e material morto. Esse tipo de manejo evitou esse processo, favorecendo a produção eficiente de matéria seca. Situação semelhante foi encontrada por Pedreira et al. (2009), Barbosa et al. (2007) e Carnevalli et al. (2006).

1.3.3 Adubação nitrogenada e produtividade

Nas Tabelas 1.3, 1.4, 1.5 e 1.6, são apresentadas as doses médias aplicadas no início e ao final dos ciclos de manejo, a quantidade de parcelas tratadas nos dois períodos de avaliação e a massa seca média obtida em cada tratamento ao final dos períodos experimentais. Ao final de cada ciclo de manejo, todos os tratamentos receberam menor quantidade total de N quando comparados às parcelas do tratamento de referência. Ao final do período experimental, não houve diferença significativa entre a produção de massa seca média da parte aérea das plantas (acima de 15 cm do solo) de todos os tratamentos nos quatro ciclos de manejo, exceto a testemunha.

Durante o primeiro ciclo de manejo, o SPAD indicou necessidade de adubação para todos os tratamentos a taxa variada, mas em épocas diferentes e não necessariamente em todas as parcelas do tratamento (Tabela 1.3). Durante esse período experimental houve predominância de clima seco e com médias de temperaturas elevadas (Figuras 1.5 e 1.6), o que pode ter contribuído para o processo de volatilização da uréia e afetado negativamente a absorção de N pelas plantas após a adubação inicial. Além disso, a área experimental não havia recebido aplicação de adubo anteriormente ao desenvolvimento desse experimento, o corte inicial de uniformização realizado foi mais drástico, e parte do N aplicado provavelmente foi imobilizado pela microbiota do solo. Provavelmente, a associação desses fatos pode ter contribuído para que todas as parcelas onde foram alocados os tratamentos a taxa variada indicassem a necessidade de N, de acordo com seus respectivos NSI.

Tabela 1.3: Dose inicial de N aplicado (N_{inicial}), número de parcelas tratadas em cada período, N aplicado até a conclusão do primeiro ciclo de manejo (N_{total}) e Massa seca (MS) média produzida

Tratamento	N_{inicial} (kg ha ⁻¹)	Número de parcelas tratadas (75 % IL)	Número de parcelas tratadas (85 % IL)	N_{total} (kg ha ⁻¹)	MS* (kg ha ⁻¹)
T _{REF}	150	-	-	150	1156a
T ₉₅	75	5	4	131,25	996a
T ₉₀	75	1	3	100	873 a
T ₈₅	75	0	1	81,25	995a
T ₀	0	-	-	0	437b

REF– dose única; 95, 90, 85 – doses variadas; 0 – testemunha; * Médias seguidas por uma mesma letra não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Nota-se que entre os NSI estudados, T₈₅ indicou a necessidade de adubação em apenas uma parcela quando as plantas estavam no estágio de 85% de interceptação luminosa. Apesar desse tratamento ter recebido menor dose média de N_{total} até a conclusão do ciclo, a produção de MS foi estatisticamente igual aos demais tratamentos que receberam N, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Os segundo e terceiro ciclos de manejo foram marcados por produtividades de matéria seca médias maiores em relação aos mesmos tratamentos do ciclo anterior, apesar de haverem recebido menor quantidade de N das condições ambientais desfavoráveis, dias mais curtos, menores temperaturas e baixa precipitação pluvial (Tabelas 1.4 e 1.5). Com NSI igual a 0,95 apenas uma parcela do CM2 e três parcelas no CM3 receberam adubação adicional após as doses iniciais. Isso pode ser atribuído a um possível efeito residual da adubação anterior.

Tabela 1.4: Dose inicial de N aplicado (N_{inicial}), número de parcelas tratadas em cada período, N aplicado até conclusão do segundo ciclo de manejo (N_{total}) e Massa seca (MS) média produzida

Tratamento	N _{inicial} (kg ha ⁻¹)	Número de parcelas tratadas (75 % IL)	Número de parcelas tratadas (85 % IL)	N _{total} (kg ha ⁻¹)	MS* (kg ha ⁻¹)
T _{REF}	150	-	-	150	1351 a
T ₉₅	75	1	0	81,25	1482 a
T ₉₀	75	0	0	75	1305 a
T ₈₅	75	0	0	75	1184 a
T ₀	0	-	-	0	391 b

REF– dose única; 95, 90, 85 – doses variadas; 0 – testemunha; * Médias seguidas por uma mesma letra não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Ao final desses ciclos de manejo, T₈₅ e T₉₀ receberam apenas as doses de N iniciais, produzindo quantidades de MS estatisticamente iguais aos demais tratamentos que receberam adubo nitrogenado, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

O quarto ciclo de manejo foi caracterizado por uma produtividade de matéria seca total mais elevada em relação aos três ciclos anteriores em até 40% (Tabela 1.6). Esse fato pode ser explicado pelas condições climáticas sob as quais o experimento foi executado, favorecendo a absorção de nutrientes pelas plantas. O período foi caracterizado por

temperaturas e umidade relativa do ar mais elevados, além de apresentar precipitações pluviais regulares durante o ciclo.

Tabela 1.5: Dose inicial de N aplicado (N_{inicial}), número de parcelas tratadas em cada período, N aplicado até a conclusão do terceiro ciclo de manejo (N_{total}) e Massa seca (MS) média produzida

Tratamento	N_{inicial} (kg ha⁻¹)	Número de parcelas tratadas (75 % IL)	Número de parcelas tratadas (85 % IL)	N_{total} (kg ha⁻¹)	MS*(kg ha⁻¹)
T _{REF}	150	-	-	150	970 a
T ₉₅	75	3	0	93,75	1260 a
T ₉₀	75	0	0	75	1111a
T ₈₅	75	0	0	75	1175 a
T ₀	0	-	-	0	450 b

REF– dose única; 95, 90, 85 – doses variadas; 0 – testemunha; * Médias seguidas por uma mesma letra não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Assim como nos demais, não houve diferença significativa na produtividade de matéria seca nesse ciclo entre os tratamentos que receberam adubação nitrogenada, mesmo com melhores condições ambientais. O tratamento correspondente ao NSI de 0,85 (T₈₅) novamente recebeu apenas a dose inicial de adubo nitrogenado até a conclusão desse ciclo de manejo, apresentando produtividade de MS estatisticamente igual ao tratamento que recebeu a dose máxima de adubo (T_{REF}).

Tabela 1.6: Dose inicial de N aplicado (N_{inicial}), número de parcelas tratadas em cada período, N aplicado até a conclusão do quarto ciclo de manejo (N_{total}) e Massa seca (MS) média produzida

Tratamento	N_{inicial} (kg ha⁻¹)	Número de parcelas tratadas (75 % IL)	Número de parcelas tratadas (85 % IL)	N_{total} (kg ha⁻¹)	MS*(kg ha⁻¹)
T _{REF}	150	-	-	150	2293 a
T ₉₅	75	1	3	100	2529 a
T ₉₀	75	0	3	93,75	2474 a
T ₈₅	75	0	0	75	2576 a
T ₀	0	-	-	0	948 b

REF– dose única; 95, 90, 85 – doses variadas; 0 – testemunha; * Médias seguidas por uma mesma letra não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

Carloto et al. (2011) avaliaram o valor nutritivo, a estrutura do dossel, a ingestão de forragem e a produção animal em pastos de capim-xaraés, manejados em três diferentes alturas, durante o período das águas em Campo Grande, Mato Grosso do Sul. Os autores obtiveram, aplicando uma dose de 100 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia e para plantas manejadas a 30 cm, uma produtividade média de matéria seca igual a 6319 kg ha⁻¹. Cerca de 2,5 vezes maior do que a produtividade encontrada no presente trabalho, para o período das águas, nas parcelas que receberam a mesma dose de adubação nitrogenada. Entretanto, aqueles autores realizaram os cortes rentes ao solo, com manejo em intervalos fixos de 30 dias, enquanto as plantas do presente trabalho foram manejadas com cortes a 15 cm de altura em relação ao solo, simulando a altura de saída dos animais dos piquetes. Sendo assim, boa parte da massa seca produzida pelas forrageiras permaneceu na área, composta pelas raízes e parte das plantas até 15 cm de altura.

Em relação ao obtido por Carloto et al. (2011), a diferença entre a produtividade do presente trabalho pode ainda ser explicada pelo histórico da área, uma vez que esta nunca havia recebido qualquer forma de manejo anteriormente à implantação do experimento, além das condições climáticas que podem ter proporcionado a perda do nutriente através do processo de volatilização da uréia. Além disso, chuvas ocorridas após a adubação inicial, como ocorreu no quarto ciclo de manejo, podem ter contribuído para a lixiviação do N. Entretanto, Pereira et al. (2011) avaliaram a produtividade de MS, entre outros parâmetros, das cultivares Marandu e Xaraés durante as estações do ano no Alto do Vale do Jequitinhonha, Minas Gerais, obtendo 972,51 kg ha⁻¹ de MS para a variedade Xaraés durante o verão, quando ocorreu a maior produtividade sob as condições do estudo, valor próximo ao obtido no quarto ciclo do presente trabalho para o tratamento que não recebeu adubo nitrogenado.

Os dados de N total na matéria seca (N_{MS}), na fração acima de 15 cm, correspondente à parte aérea da planta consumida pelos animais e que foi analisada nesse experimento, seguiram a mesma tendência da produção de matéria seca da maior parte dos ciclos de manejo, não havendo diferença significativa entre eles, exceto a testemunha (Tabela 1.7). Portanto, é possível observar que o N_{MS} foi estatisticamente igual em todos os tratamentos que receberam adubo nitrogenado, permitindo concluir que a adubação a taxa variada teve o mesmo desempenho que a adubação em dose única na produção do nutriente pelas forrageiras.

Tabela 1.7: N total médio (N_{MS} , kg ha⁻¹) produzido em cada tratamento nos quatro ciclos de manejo (CM)

Trat.	1º ciclo de manejo	2º ciclo de manejo	3º ciclo de manejo	4º ciclo de manejo
T _{REF}	21,75 a	31,84 a	27,25 a	48,13 a
T ₉₅	18,25 a	34,03 a	32,15 a	47,02 a
T ₉₀	14,98 a	28,79 a	27,71 a	41,29 a
T ₈₅	15,16 a	25,32 a	28,61 a	39,06 a
T ₀	5,81 b	5,90 b	7,19 b	10,63 b

REF– dose única; 95, 90, 85 – doses variadas; 0 – testemunha; * Médias seguidas por uma mesma letra não diferem a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

A partir dos dados de N_{MS} , estimou-se o percentual de proteína bruta (PB) produzida em cada tratamento. Os resultados são apresentados na Tabela 1.8.

Tabela 1.8: Percentual de proteína bruta (PB) estimada para cada tratamento e em cada ciclo de manejo

Trat.	1º ciclo de manejo	2º ciclo de manejo	3º ciclo de manejo	4º ciclo de manejo
T _{REF}	11,98	14,84	17,52	13,21
T ₉₅	11,68	14,51	15,94	11,73
T ₉₀	10,71	13,75	15,52	10,82
T ₈₅	9,58	13,38	15,17	9,53
T ₀	8,62	9,52	9,92	7,10

Carloto et al. (2011) encontraram percentuais de PB de aproximadamente 11,20, para pastagens manejadas a 30 cm. Flores et al. (2008) encontraram valores entre 9,6 e 11,1%, variando de acordo com a altura de manejo do dossel. Pereira et al. (2011) avaliaram as produtividades de N em Xaraés, entre outros parâmetros, em diferentes estações do ano, encontrando teores de até 12,6% de PB, no verão. Os valores de PB encontrados no período das águas, para as parcelas que receberam adubação nitrogenada atingiram valores de no mínimo 9,53% e no máximo 13,21%. Os valores encontrados nos segundo e terceiro ciclo de manejo, foram um pouco superiores, entre 13,38 e 14,84% e entre 15,17 e 17,52%

respectivamente. Possivelmente, isso ocorreu devido ao efeito residual de adubações sucessivas em ciclos consecutivos que levaram à maior produção de N_{MS} nesses ciclos (Tabela 1.7).

As eficiências de uso de N (NUE) dos tratamentos a taxa variada foram superiores ao tratamento a taxa fixa (Tabela 1.9), exceto no primeiro ciclo de manejo (CM1), que teve a produtividade afetada principalmente devido ao histórico da área e ao corte de uniformização drástico realizado na implantação do experimento.

No primeiro ciclo nota-se que, para cada kg de N aplicado, houve uma produtividade de 6,88 kg de MS para o tratamento a taxa variada com base em um NSI igual a 0,85, enquanto no tratamento de referência, que recebeu a dose máxima de adubo nitrogenado, houve uma produtividade de apenas 4,80 kg de MS para cada kg de N aplicado. Essa diferença entre os tratamentos que receberam doses de adubo nitrogenado a taxa variada e o tratamento que recebeu uma única dose fixa, se perpetua durante os demais ciclos, demonstrando que a aplicação de N a taxa variada em pastagens compostas por Xaraés apresenta melhor eficiência do que a aplicação de uma única dose fixa, resultando em economia no uso de insumo sem reduzir a produtividade das plantas. Conclui-se ainda que o uso do NSI, obtido por leituras de SPAD, apresentou resultados satisfatórios no manejo de adubação nitrogenada em pastagens de Xaraés, para as condições em que foram realizadas o estudo, e para diferentes condições ambientais. Para o tratamento com NSI de 0,85, a economia gerada na aplicação de adubo nitrogenado a taxa variada, em comparação com aplicação de dose fixa, chegou a 64% no terceiro ciclo de manejo, período com condições climáticas menos propícias ao desenvolvimento vegetal, e a 59% no quarto ciclo de manejo, quando houve boas condições de temperatura, luminosidade e precipitação pluvial.

Tabela 1.9: Eficiência de uso do N aplicado (NUE, kgMS kgN aplicado⁻¹) em cada tratamento na produção de matéria seca, ao final de cada ciclo de manejo

Trat.	1º ciclo de manejo	2º ciclo de manejo	3º ciclo de manejo	4º ciclo de manejo
T _{REF}	4,80	6,40	3,47	8,96
T ₉₅	4,26	13,43	8,64	15,81
T ₉₀	4,37	12,19	8,81	16,28
T ₈₅	6,88	10,58	9,68	21,71

REF– dose única; 95, 90, 85 – doses variadas.

Costa et al. (2015) avaliaram o estado nutricional de N em pastagens de Xaraés objetivando determinar o que denominaram como índice de suficiência de nitrogênio crítico (NSIc). Situação na qual a dose de N aplicada é economicamente ótima para produtividade de massa seca. Os autores avaliaram quatro doses fixas, nas estações seca, com realização de irrigação, e chuvosa, concluindo que as variáveis nutricionais analisadas, matéria seca, nitrogênio total e conteúdo relativo de clorofila (quantificado indiretamente com SPAD), apresentaram alta relação não linear e correlação com o status de N em capim-xaraés. Determinaram ainda NSIc igual a 0,85 para capim-xaraés, mesmo índice que apresentou a melhor eficiência de aplicação de N a taxa variada para essa forrageira no presente estudo.

Entretanto, os mesmos autores concluíram que o clorofilômetro não deve ser utilizado durante a estação seca para o manejo nutricional de capim-xaraés. No presente trabalho, o SPAD apresentou-se como uma ferramenta satisfatória para recomendação de adubação nitrogenada utilizando o NSI como parâmetro, tanto para os períodos seco quanto para o período chuvoso. Possivelmente esse fato ocorreu devido ao trabalho citado ter sido desenvolvido com doses fixas e pré-determinadas de adubo nitrogenado, não utilizando técnicas de agricultura de precisão, como a aplicação do insumo a taxa variada. A utilização da planta como biosensor, fazendo com que o efeito do clima do local influencie na determinação da dose de N, como proposto na metodologia empregada no presente trabalho, leva a uma maior eficiência na recomendação de adubação.

Francis e Piekielek (1999) determinaram NSI de 0,95 para culturas como milho, indicando que culturas diferentes podem apresentar NSI específicos. O NSI de 0,85 para capim-xaraés indica que essa planta necessita de quantidades menores de N para suprir suas necessidades nutricionais.

1.4 CONCLUSÕES

- A eficiência de uso de N foi maior para o NSI de 0,85, uma vez que as produções de matéria seca e de N com base nesta, foram estatisticamente iguais aos demais tratamentos que receberam adubação nitrogenada.
- Os tratamentos com aplicação de N a taxa variada mostraram maiores eficiências na produção de matéria seca do que o tratamento que recebeu dose única, implicando em economia no uso de nitrogênio.

CAPÍTULO 2

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS DE PASTAGENS DE *Brachiaria brizantha* cv. XARAÉS OBTIDAS REMOTAMENTE NA RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA A TAXA VARIADA

RESUMO

O conhecimento prévio das variabilidades temporal e espacial de diversos atributos das plantas é necessário para a aplicação de técnicas de agricultura de precisão, como o sensoriamento remoto. O uso de imagens digitais na realização do diagnóstico do *status* de nitrogênio (N) nas plantas apresenta-se como um método promissor. Além disso, metodologias como a do índice de suficiência de nitrogênio (NSI) tem apresentado bons resultados para a aplicação de N a taxa variada em diversas culturas. Tendo isso em vista, os objetivos desse estudo foram associar essas metodologias com o intuito de avaliar diferentes índices de vegetação na recomendação de adubação nitrogenada a taxa variada a partir de imagens obtidas com uma câmera comum e a possibilidade de uso dessa câmera em substituição ao SPAD na avaliação do *status* de N em pastagens de capim-xaraés. O experimento foi implantado em área consolidada com capim Xaraés, onde os tratamentos se constituíram de três NSI's (0,85; 0,90 e 0,95) a serem testados para aplicação de adubação a taxa variada, testemunha (sem aplicação de N) e referência (dose fixa de 150kg ha⁻¹), totalizando cinco tratamentos e seis repetições. Os tratamentos a taxa variada receberam doses complementares de N de acordo com a resposta do NSI em dois momentos específicos, de acordo com a porcentagem de interceptação luminosa do dossel vegetal, a 75 e 85% de interceptação luminosa. Foram realizadas análises de correlação entre sete índices de vegetação associados às bandas do espectro visível, vermelho (R), verde (G) e azul (B) e os dados de estimativa de N foliar coletados com um clorofilômetro portátil (SPAD-502), para datas específicas monitoradas através da porcentagem de interceptação luminosa pelo dossel vegetal. Após essa análise, os índices que apresentaram correlação significativa em todos as datas testadas foram comparados com o SPAD como variáveis espectrais para o cálculo do NSI. Os resultados indicaram que os índices ExR, NDI e SAVI_{green} apresentaram correlação significativa para todos os períodos testados. A tomada de decisão com base nos índices de vegetação mostrou-se satisfatória. Os resultados desse trabalho indicam que é possível a realização de recomendação de adubação a taxa variada, com base na metodologia do NSI, utilizando uma câmera convencional e com processamento computacional simples.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Índices de vegetação. Agricultura de Precisão.

CHAPTER 2

DIGITAL IMAGES OF *Brachiaria brizantha* cv. XARAÉS PASTURE REMOTELY OBTAINED FOR VARIABLE RATE NITROGEN APPLICATION

ABSTRACT

Prior knowledge of temporal and spatial variability of various plant attributes is required for the application of precision agriculture techniques, such as remote sensing. The use of digital images in the diagnosis of nitrogen (N) status in plants is a promising method. In addition, methodologies such as the Nitrogen Sufficiency Index (NSI) have presented good results for the application of N at a varied rate in different cultures. The objective of this study was to associate these methodologies with the purpose of evaluating different vegetation indices in the recommendation of nitrogen fertilization at a varied rate from images obtained with a common camera and the possibility of using this camera instead of the SPAD on the evaluation of the N status in Xaraés pastures. The experiment was carried out in a consolidated area with Xaraés grass, where the treatments consisted of three NSI's (0,85; 0,90 e 0,95) to be tested for fertilizer application at a variable rate, control (without N application) and reference (application of a fixed rate of 150 kg ha⁻¹ of N fertilizer) composing of five treatments and six replicates, in a completely randomized design. Varied rate treatments received complementary doses of N according to the NSI response at two specific times, at 75% and 85% light interception by the plant canopy. Correlation analyzes were performed between seven vegetation indexes associated with visible, red (R), green (G) and blue (B) bands, and leaf estimated data collected with a portable chlorophyllometer (SPAD-502), for specific dates monitored through the percentage of luminous interception by the vegetal canopy. After this analysis, the indexes that showed a significant correlation in all the dates tested were compared with the SPAD as spectral variables for the NSI calculation. The results indicated that the ExR, NDI and SAVI_{green} indices showed a significant correlation for all periods tested. Decision-making based on vegetation indexes was satisfactory. The results of this work indicate that it is possible to perform a fertilizer recommendation at a varied rate, based on the NSI methodology, using a conventional camera and with simple computational processing.

Keywords: Remote Sensing. Indices of vegetation. Precision Agriculture.

2.1 INTRODUÇÃO

Diversos atributos das plantas e do solo possuem variabilidades temporal e espacial, como por exemplo, suas necessidades nutricionais de macronutrientes. Entre esses, destaca-se o nitrogênio, utilizado na síntese de clorofila e, consequentemente, responsável direto pela síntese de proteínas e produtividade vegetal.

O conhecimento do status de nitrogênio (N) nas culturas é essencial para o manejo sustentável de fertilizantes nitrogenados e principalmente para a prática de aplicação a taxa variada (Saberioon et al., 2014). Informações sobre essa heterogeneidade de culturas podem ser obtidas através de técnicas de sensoriamento remoto.

Recentemente, o sensoriamento remoto (SR) tem se apresentado como uma técnica eficiente na determinação de status nutricional das culturas. É possível o fornecimento de estimativas rápidas e precisas que podem ser utilizadas para aplicação de fertilizantes à taxa variada (Olfs et al., 2005).

Nesse contexto, os clorofilômetros portáteis, como o SPAD-502 (Minolta Camera Co. Ltd., Osaka, Japão), apresentam uma boa alternativa para a quantificação do status de N de culturas agrícolas. Isso é possível pelo fato de a reflectância pelas plantas da luz visível ocorrer devido principalmente ao teor de clorofila foliar (Daughtry et al., 2000), composto por N. Logo, esses aparelhos conseguem fornecer um método não destrutivo de estimativa do teor de clorofila foliar e outras variáveis relacionadas, permitindo avaliações imediatas de variáveis fisiológicas e suas mudanças ao longo do tempo (Hawkins et al., 2009).

Francis e Piekielek (1999) utilizaram uma metodologia para prescrição de N a taxa variada, em plantações de milho, com base na comparação do teor de clorofila de uma parcela de referência com o teor de clorofila das plantas da área onde deseja-se aplicar o adubo nitrogenado. Na parcela de referência, de dimensões reduzidas e localizada próxima a área a ser tratada, é aplicada a dose máxima usual. Esta comparação é realizada pelo cálculo do Índice de Suficiência de Nitrogênio (NSI) (Equação 2.1), relacionando a variável espectral quantificada na parcela de referência (VS_{pr}) com a variável espectral da área onde se pretende realizar a adubação a taxa variada (VS_{ptv}). Quando esse for menor que uma porcentagem pré-determinada, realiza-se a aplicação de N. O SPAD-502 foi utilizado como variável espectral para cálculo do NSI nesse estudo. Porém, seu uso é limitado devido ao grande número de amostragens pontuais necessárias, por exemplo, para gerar um mapa de prescrição de N.

$$NSI = \frac{VS_{ptv}}{VS_{pr}} \quad (2.1)$$

O uso de imagens digitais obtidas remotamente tem se apresentado como uma alternativa mais econômica, completa e prática ao SPAD, principalmente para grandes áreas. A partir delas é possível extrair as informações a respeito do status de N nas culturas, porém a interpretação visual nem sempre é o suficiente, sendo necessário o processamento e análise dessas anteriormente à tomada de decisão (Rasmussen et al., 2016). Diversos trabalhos para diferentes culturas foram realizados a fim de estudar o uso de câmeras domésticas como ferramentas de sensoriamento remoto, em substituição ao SPAD, na realização de mapeamento do status de N (Costa et al., 2015; Saberioon et al., 2014; Jinwen, 2014; Wang et al., 2014).

As informações, baseadas nas faixas espectrais do vermelho e do verde gravadas com câmeras domésticas, são suficientemente robustas para fornecer informações a respeito do status de N nas plantas, mesmo com a ótica relativamente simples desse tipo de câmera e do balanço de branco automático, sendo essas informações comparáveis a instrumentos dedicados que utilizam bandas de infravermelho e vermelho (Li et al., 2010).

Na fase de processamento, uma forma de extrair informações de imagens digitais de diferentes culturas é com a determinação de índices de vegetação (IV). Estes são cálculos aritméticos baseados em diferentes comprimentos de onda da luz refletida pelos objetos, possuindo uma extensa aplicabilidade na agricultura, como por exemplo destacar diferentes características das plantas e quantificar atributos físicos, químicos e biológicos dessas.

Gitelson et al. (2002) sugerem que a intensidade de reflectâncias nas bandas verde e vermelha poderiam ser utilizadas como alternativa às bandas vermelha e infra-vermelha para mensurar algumas propriedades das culturas. As câmeras digitais comuns gravam imagens em cores completas a partir de canais vermelhos, verdes e azuis (RGB) em uma escala de 256 níveis de cinza, cada, apresentando-se assim como uma promissora alternativa aos sensores multiespectrais, que possuem sensores em infra-vermelho, além das bandas RGB, para a quantificação de atributos de diversas culturas agrícolas.

Silva Júnior et al. (2008), objetivando detectar diferentes status nutricionais relativos à aplicação de N em *Brachiaria decumbens*, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e avaliando a correlação com o SPAD, concluíram que os índices de vegetação gerados pelo sistema de SR aplicado foram capazes de detectar variação no status nutricional das plantas em todos os períodos testados.

Diante do potencial apresentado pelas câmeras comuns como ferramentas de manejo de fertilizantes nitrogenados, esse trabalho teve por objetivos: I) avaliar diferentes índices de vegetação aplicados às bandas RGB na recomendação de adubação nitrogenada a taxa variada a partir de imagens obtidas com uma câmera comum; e II) avaliar a possibilidade de uso dessa câmera em substituição ao SPAD na avaliação do status de N em pastagens de Xaraés.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Implantação do experimento

O experimento foi implantado no campo experimental da EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais) em Leopoldina-MG, em área estabelecida com *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés, situada na região da Zona da Mata com 21°28'22" (S) de latitude e 42°43'18" (W) de longitude e altitude de, aproximadamente, 187 m, no período de março a novembro de 2016. O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, fase terraço, textura franco argiloso.

Segundo Köpen e Geiger, o clima da região de Leopoldina é classificado como Aw, definido como tropical úmido, com inverno seco e verão chuvoso. Os dados diários de radiação solar foram obtidos da estação meteorológica do INMET mais próxima, em Muriaé – MG, e os dados de precipitação foram coletados com pluviômetro localizado na sede da fazenda.

No dia 14 de março de 2016 foi realizada a demarcação da área experimental e a amostragem de solo. Foram obtidas seis amostras compostas, uma para cada coluna onde foram alocadas as parcelas. As amostragens foram realizadas em coluna pois o experimento seria desenvolvido com delineamento em blocos casualizados. No entanto, a semelhança na análise química do solo das colunas, permitiu que o experimento fosse conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com seis repetições. Os tratamentos foram alocados em parcelas de 4 m x 4 m, espaçadas 1 m entre si. Cada amostra composta foi obtida a partir de quatro amostras simples coletadas na camada de 0 a 20 cm, em pontos aleatórios ao longo das colunas, com uso de um amostrador de solo motorizado a gasolina BT 45 da Stihl.

Entre os dias 15 e 20 de março foi realizado o rebaixamento do pasto por pastejo. Feito isso, prosseguiu-se com um corte de uniformização com roçadora tratorizada a 5 centímetros do solo, retirando o excesso de massa vegetal das parcelas.

A partir dos resultados laboratoriais da análise de solo (Apêndice B), foi realizada a correção de fertilidade conforme recomendação da 5ª aproximação (Ribeiro et al., 1999), com exceção do nitrogênio. No dia 21 de março, cada parcela recebeu as doses de 500 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 100 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio, e as doses de adubo nitrogenado correspondentes a cada parcela, distribuídas uniformemente em cobertura. Além disso, realizou-se calagem para a correção de acidez no solo.

Os tratamentos foram organizados da seguinte maneira:

- T_0 : parcela testemunha, sem aplicação de adubo nitrogenado;
- T_{REF} : parcela de referência, com aplicação de 150 kg ha^{-1} de adubo nitrogenado em dose única na forma de uréia;
- T_{85} : parcela manejada com adubação a taxa variada, utilizando NSI igual a 0,85;
- T_{90} : parcela manejada com adubação a taxa variada, utilizando NSI igual a 0,90;
- T_{95} : parcela manejada com adubação a taxa variada, utilizando NSI igual a 0,95.

Inicialmente foi aplicado 50 % da dose única em cada parcela dos tratamentos a taxa variada, ou seja, 75 kg ha^{-1} . O desenvolvimento das plantas foi monitorado com uso de um ceptômetro AccuPAR, modelo LP-80 (Decagon), através da quantificação da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) interceptada (IL) pelo dossel vegetal, sendo realizadas quatro medidas dentro de cada parcela de referência em pontos aleatórios, considerando a IL como a média dos pontos amostrados em cada parcela. Ao atingir 75 e 85 % de interceptação luminosa (IL) pelos dosséis das parcelas de referência, foi calculado o NSI dessas parcelas. Quando esse foi inferior ao NSI do tratamento, uma dose de 25 % da dose da parcela de referência (equivalente a $37,50 \text{ kg ha}^{-1}$) foi aplicada. As doses foram aplicadas sempre no final do dia, a fim de minimizar os efeitos de volatilização e lixiviação da uréia.

2.2.2 Obtenção das variáveis espectrais

A variável espectral utilizada na tomada de decisão quanto à realização da adubação nitrogenada foram as leituras de SPAD.

Em paralelo com as leituras realizadas com o SPAD, foram feitas imagens das parcelas, em condições de céu aberto, entre 12 e 14 horas, obtidas com uma câmera convencional Sony Cyber-shot DSC-W710, acoplada em uma haste a 1,80 m de altura em relação ao solo, com a lente voltada em direção aos dosséis vegetais. A câmera foi ajustada para operar no modo ISO e equilíbrio de branco no modo “luz do dia”.

Foram realizadas três imagens com dimensão 1944 x 2592 pixels da parte central de cada parcela, representando uma área de aproximadamente 4,12 m² com uma resolução espacial de aproximadamente 1 mm pixel⁻¹. Portanto, em cada dia de análise foram realizadas 90 imagens.

2.2.3 Processamento das imagens e extração dos índices de vegetação

O processamento das imagens foi realizado utilizando o software Matlab(The MathWorks, EUA) versão R2009b, e o pacote de ferramentas para processamento de imagens digitais.

Neste trabalho, os valores numéricos dos pixels foram função das propriedades espectrais das folhas de Xaraés, uma vez que as propriedades geométricas de iluminação e o sistema ótico, composto por câmera e lente, foram mantidos constante para cada período em que foram realizadas as coletas. Sendo assim, para efetuar os cálculos dos índices através do processamento das imagens, considerou-se a reflectância dos dosséis como a média dos pixels da imagem.

Com o intuito de realçar na imagem informações a respeito do status nutricional das plantas e atenuar a influência da variação da iluminação natural, foram utilizados índices de vegetação com bandas do espectro visível, no presente trabalho denominados como índice de vegetação coloridos (IVC). Os índices apresentam normalização dos valores de pixels em seu cálculo aritmético, atenuando os efeitos de variação de luminosidade (Meyer et al., 2008; Li et al., 2010).

Foram testados sete IVCs, a fim de realçar na imagem as informações a respeito do status nutricional das plantas, além de atenuar a influência da variação da iluminação natural (Tabela 2.1).

O valor de L selecionado foi 0,5, que é o valor utilizado para vegetação com densidade intermediária (Li et al., 2010), visto que as imagens desse trabalho apresentaram pequenas faixas de solo exposto.

2.2.4 Análises estatísticas

Foram realizadas análises de correlação de Pearson a fim de determinar as relações entre as medições com o SPAD e os IVCs, para cada um dos tratamentos e para todos os tratamentos em conjunto. A análise foi realizada para o intervalo de tempo entre 75% e 95%

de interceptação luminosa (IL). Além disso, foi realizado estudo de correlação entre os IVs e as leituras de SPAD realizadas nos dias possíveis de realização de adubação nitrogenada, ou seja, quando os dosséis atingiram 75%, 85% e 95% de IL. Para isso foi utilizado o software Rstudio (R Core Team, 2016).

Procedeu-se com o cálculo do NSI utilizando como variável espectral os índices de vegetação que apresentaram correlação significativa com as medições de SPAD em todas as datas de análise, analisando a possibilidade de substituição desse aparelho por uma câmera RGB.

TABELA 2.1: Índices de vegetação coloridos

Nome	Equações	Referência
Excesso de verde	$ExG = 2g - r - b$	Mao et al., 2003
Excesso de vermelho	$ExR = 1,4r - g$	Mao et al., 2003
Excesso de azul	$ExB = 1,4b - g$	Mao et al., 2003
Excesso de verde menos excesso de vermelho	$ExGR = ExG - ExR$	Mao et al., 2003
Índice da diferença normalizada	$NDI = \frac{g - r}{g + r}$	Pérez et al., 2000
Índice de vegetação ajustado ao solo	$SAVI_{green} = (1 + L) \frac{g - r}{g + r + L}$	Li et al., 2010
Índice de folha verde	$GLI = \frac{2g - r - b}{2g + r + b}$	Louhaichi et al., 2001

r, g, b: valores médios de pixels normalizados das bandas vermelha, verde e azul, respectivamente; L: linha de base do solo, variando de 0 para cobertura completa pelo dossel e 1 para solo descoberto

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

2.3.1 Estudo de correlação SPAD x Índices de vegetação em escala de dossel

Na Tabela 2.2 são apresentados os resultados dos testes de correlação entre os índices de vegetação coloridos (IVCs) para cada ciclo de manejo. Os testes foram realizados para a faixa de 75% a 95% de interceptação luminosa (IL) pelos dosséis vegetais. Período que compreende as datas, previamente selecionadas para esse estudo, onde foram realizadas as avaliações das necessidades nutricionais de N pelas plantas.

O primeiro ciclo de manejo foi caracterizado pela implantação do experimento, com realização da primeira adubação aplicada à área experimental e por clima quente e seco, interferindo na absorção de N e recomposição das plantas após uma roçada drástica (abaixo de 5 cm), onde foram eliminados os meristemas apicais. A associação desses fatores pode ter contribuído diretamente sobre a síntese de clorofila e consequentemente sobre a reflectância na banda G pelo dossel vegetal. Entretanto, observa-se que a correlação entre as leituras de SPAD e os IVCs testados foi significativa ($p < 0,05$) para todos os índices testados, exceto o excesso de azul (ExB). Saberioon et al. (2014), ao avaliar o teor de clorofila de folhas de arroz em diferentes estágios de crescimento utilizando bandas visíveis, tanto em escala foliar quanto em escala do dossel das plantas, obteve correlações significativas para a maioria dos índices associados à banda verde (G), tais como ExG, ExGR, GLI e NDI (denominado GRVI por esse autor). Esses autores inferem que a banda G pode ser usada para determinar o status de N e conteúdo de clorofila em escala de dossel. Nota-se uma tendência de que os índices associados às banda G e R (ExGR, NDI e SAVI_g) apresentem correlação mais elevada do que os índices que utilizam, além desses, a banda azul (B) em sua composição, como o GLI por exemplo.

TABELA 2.2: Coeficientes de correlação entre os índices de vegetação e as leituras de SPAD, para cada ciclo de manejo entre 75% e 95% de IL

Índices	1º ciclo de manejo	2º ciclo de manejo	3º ciclo de manejo	4º ciclo de manejo
ExG	0,3103**	0,6484**	0,3935**	0,3656**
ExR	-0,4871**	-0,8097**	-0,6543**	-0,5986**
ExB	-0,0854	-0,0178	-0,0023	-0,0776
ExGR	0,3835**	0,7425**	0,5207**	0,4615**
NDI	0,4898**	0,8210**	0,6713**	0,6033**
SAVI _g	0,4789**	0,8099**	0,6543**	0,5882**
GLI	0,3189**	0,6784**	0,4214**	0,3726**

** $P < 0,05$. ExG: Excesso de verde; ExR: Excesso de vermelho; ExB: Excesso de azul; ExGR: Excesso de verde menos vermelho; NDI: Índice da diferença normalizada; SAVI_g: Índice de vegetação ajustado ao solo; GLI: Índice de folha verde.

O índice de excesso de vermelho apresentou correlação significativa ($p < 0,05$), porém inversa. Esse comportamento pode ser explicado devido ao fato de que o aumento do teor de clorofila foliar causa menor alteração na reflectância vermelha devido picos de absorvância dos comprimentos de onda vermelhos pela clorofila (Eitel et al., 2008).

Os segundo e terceiro ciclos de manejo foram caracterizados por clima mais seco e com menor radiação solar, além de baixa precipitação. O quarto ciclo apresentou precipitações elevadas e foi caracterizado por altas temperaturas e, semelhante ao primeiro

ciclo de manejo, com radiação solar intensa. Além disso, durante a realização das imagens de cada parcela, houve variações de iluminação no decorrer da tomada das imagens. Entretanto, nota-se que em todos os ciclos de manejo a correlação entre os índices de vegetação e as leituras de SPAD manteve-se significativa ($p < 0,05$) para todos os índices testados, exceto para o ExB, independente das condições ambientais. Campbell (1996) sugere que os índices de vegetação utilizando as bandas visíveis são menos sensíveis às variações de iluminação. Nota-se uma tendência de os índices NDI e SAVIg apresentarem valores absolutos de coeficientes de correlação mais elevados em relação aos demais índices para todos os ciclos de manejo. Esses resultados indicam que imagens realizadas por câmeras digitais, com uma função de realce incorporada podem apresentar mais sensibilidade à banda G pelos sensores de cor da câmera (CCDs) em relação às bandas vermelha (R) e azul (B) (Saberioo et al., 2014).

Na Tabela 2.3 é apresentada a correlação entre as leituras realizadas com SPAD e os índices de vegetação calculados a partir das imagens obtidas remotamente com câmera comum para cada data de adubação a taxa variada (75% e 85% de IL) e para o período de colheita (95%).

TABELA 2.3: Coeficientes de correlação entre os IVs e as leituras de SPAD para as três fases de interceptação luminosa (IL)

IL	ExG	ExR	ExB	ExGR	NDI	SAVIg	GLI
1º ciclo de manejo							
75%	0,5896**	-0,7582**	-0,2418	0,6699**	0,7509**	0,7456**	0,5903**
85%	0,6012**	-0,7760**	-0,1395	0,6899**	0,7741**	0,7680**	0,6033**
95%	0,5864**	-0,7377**	-0,3235	0,6551**	0,7275**	0,7331**	0,5851**
2º ciclo de manejo							
75%	0,7636**	-0,8561**	-0,4605	0,8148**	0,8608**	0,8565**	0,7730**
85%	0,7282**	-0,8977**	-0,0152	0,8251**	0,9010**	0,8951**	0,7466**
95%	0,5848**	-0,8252**	0,0880	0,7268**	0,8323**	0,8243**	0,6013**
3º ciclo de manejo							
75%	0,7696**	-0,8341**	-0,4315	0,8061**	0,8404**	0,8362**	0,7768**
85%	0,8055**	-0,8031**	-0,6836*	0,8096**	0,8060**	0,8055**	0,8107**
95%	0,7986**	-0,8308**	-0,6670*	0,8151**	0,8361**	0,8317**	0,8048**
4º ciclo de manejo							
75%	0,1532	-0,4986**	0,0870	0,2812	0,4938**	0,4741**	0,1667
85%	0,4308**	-0,7349**	0,0971	0,5735**	0,7425**	0,7263**	0,4414**
95%	0,6951**	-0,8186**	-0,3526	0,7558**	0,8220**	0,8156**	0,6965**

**P<0,05. ExG: Excesso de verde; ExR: Excesso de vermelho; ExB: Excesso de azul; ExGR: Excesso de verde menos vermelho; NDI: Índice da diferença normalizada; SAVIg: Índice de vegetação ajustado ao solo; GLI: Índice de folha verde.

Os índices de vegetação estudados apresentaram correlações significativas ($p < 0,05$) para quase todos os períodos de avaliação, exceto o excesso de azul (ExB). Assim como no estudo realizado para todo o período de monitoramento das necessidades nutricionais das plantas, os resultados obtidos para os três períodos de IL apresentaram tendência de correlações elevadas para os índices associados à banda G (NDI, SAVI_g, ExG e ExGR). Além disso o índice ExR apresentou elevadas correlações inversas, porém significativas ($p < 0,05$), indicando a diminuição da reflectância vermelha com o aumento do teor de clorofila.

Nota-se uma diminuição nos valores absolutos dos coeficientes de correlação aos 75% de IL no quarto ciclo de manejo. Exceto para os índices NDI, SAVI_g e ExR, as correlações de todos os índices foram não significativas nesse período. Isso pode ter ocorrido devido à maior variação de iluminação e à possível presença de orvalho nas folhas, após a ocorrência de precipitação nessa data, ocasionando interferência na reflectância sobre as mesmas.

Os índices NDI, SAVI_g e ExR apresentaram correlações significativas para todos os períodos testados, independente das condições ambientais em que foram realizadas as imagens. Portanto, esses índices possivelmente poderiam substituir o SPAD na recomendação de adubação nitrogenada a partir de imagens remotas obtidas com câmeras convencionais.

2.3.2 Índices de vegetação como variável espectral para recomendação de adubação nitrogenada a taxa variada através do NSI

No primeiro ciclo de manejo nota-se uma tendência de crescimento do número de vezes em que a tomada de decisão quanto a realização ou não de adubação nitrogenada por meio do cálculo do NSI a partir do índice de excesso de vermelho (ExR) coincidiu com o NSI obtido por meio das leituras de SPAD (Figura 2.1), acompanhando o aumento dos valores de NSI estudados. Para o tratamento com NSI de 0,95 houve um maior número de vezes em que coincidiu a tomada de decisão de ambos os métodos de obtenção de dados, enquanto a tomada de decisão para o tratamento com NSI de 0,85 coincidiu uma única vez com o ExR, aos 85% de interceptação luminosa pelo dossel vegetal (IL).

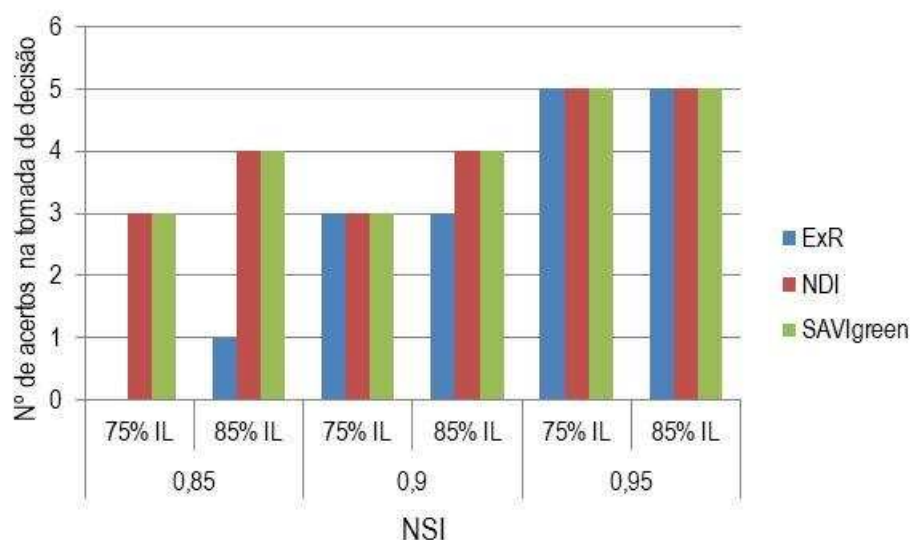


Figura 2.1 – Número de coincidências entre SPAD e IVC na tomada de decisão quanto à adubação nitrogenada pela metodologia do NSI no primeiro ciclo de manejo.

Para os demais índices testados, da diferença normalizada (NDI) e de vegetação ajustado ao solo (SAVI_{green}), o número de vezes em que a tomada de decisão coincidiu com as decisões tomadas com base nas leituras do teor de clorofila foliar com o SPAD, foram iguais ou superiores ao índice ExR para todos os tratamentos. Entretanto, nota-se que houve uma melhor identificação do *status* nutricional das plantas das parcelas correspondentes ao tratamento de NSI igual a 0,95, para esse ciclo de manejo.

Esse ciclo de manejo foi marcado por um tratamento inicial mais drástico para implantação do experimento. Além disso, as plantas da área experimental não haviam recebido adubação anteriormente à condução desse experimento. Sendo assim, para o tratamento de NSI igual a 0,95, sendo esse índice menos rigoroso, houve a necessidade de realizar adubação complementar em muitas parcelas. O índice ExR demonstrou um comportamento muito rigoroso para esse ciclo. Se fosse adotado como método de avaliação, substituindo o SPAD, indicaria a necessidade de adubação de 14 parcelas aos 75% de IL e 17 parcelas aos 85% de IL, entre as 18 que compoem os três tratamentos que receberam doses de adubo nitrogenado a taxa variada.

O segundo ciclo de manejo foi marcado por maior número de vezes em que coincidiram as decisões tomadas com uso do SPAD e da câmera, aplicando os índices de vegetação coloridos NDI e SAVI_{green}, pelo método do NSI (Figura 2.2). Entretanto, a resposta do ExR foi ainda inferior ao observado durante o primeiro ciclo, chegando a não coincidir nenhuma decisão quanto a necessidade de uso ou não de adubo nitrogenado nas pastagens

de Xaraés para o tratamento com NSI de 0,85 em ambos os períodos analisados, ou seja, aos 75 e 85% de interceptação luminosa pelo dossel das plantas.

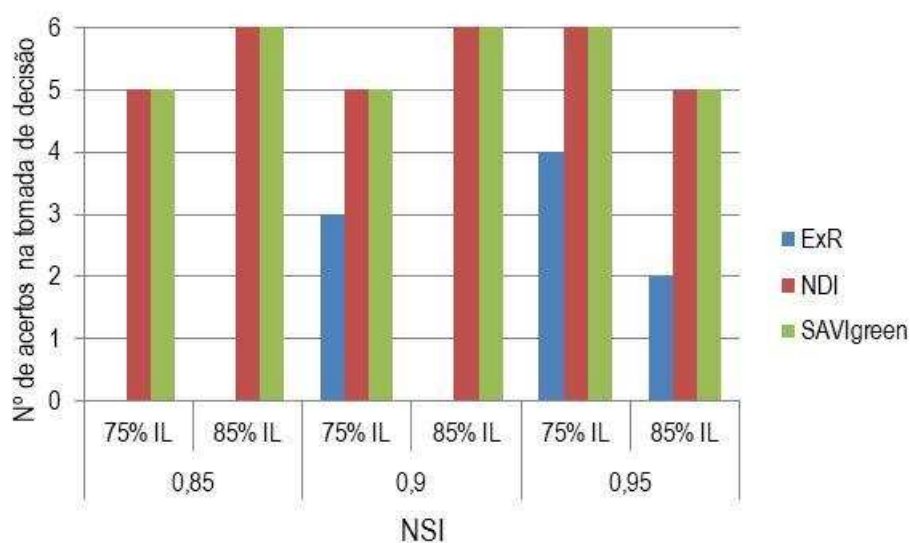


Figura 2.2 – Número de coincidências entre SPAD e IVC na tomada de decisão quanto à adubação nitrogenada pela metodologia do NSI no segundo ciclo de manejo.

O número de vezes em que a tomada de decisão com apoio de ambos os aparelhos utilizados para coleta de dados espectrais coincidiu, durante o período correspondente ao terceiro ciclo de manejo, foi superior aos ciclos anteriores para todos os índices de vegetação estudados (Figura 2.3). Esse ciclo foi marcado por menores amplitudes de radiação solar, minimizando os efeitos da variação de iluminação. Além disso, nota-se que todas as decisões tomadas com auxílio do SPAD aos 85% de interceptação luminosa, seriam as mesmas se fossem utilizados qualquer um dos índices de vegetação coloridos. Nesse período, nenhuma parcela experimental necessitou de doses complementares de adubo nitrogenado.

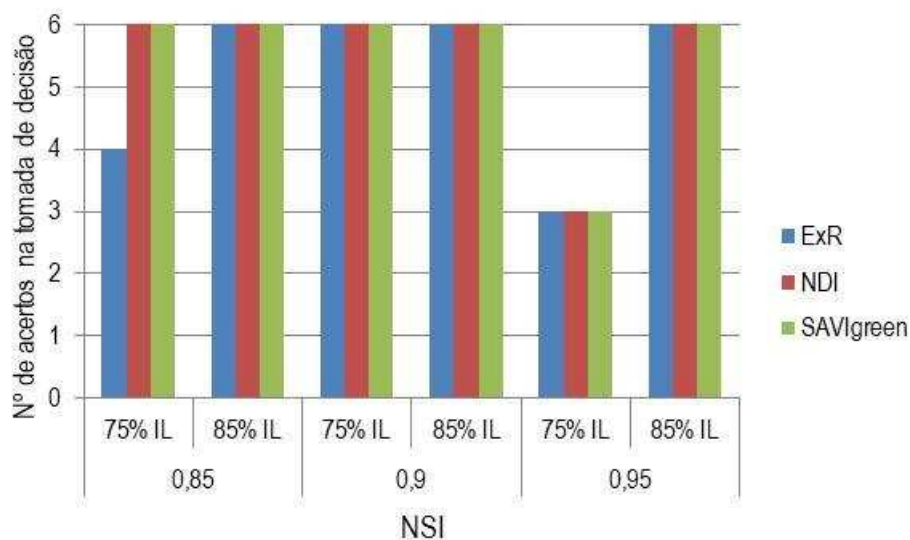


Figura 2.3 – Número de coincidências entre SPAD e IVC na tomada de decisão quanto à adubação nitrogenada pela metodologia do NSI no terceiro ciclo de manejo.

O quarto ciclo de manejo, assim como nos anteriores, apresentou uma boa resposta para os índices NDI e SAVI_{green}. Entretanto observa-se uma pequena queda no número de acertos aos 85% de IL para os tratamentos com NSI de 0,90 e 0,95 (Figura 2.4). Esses índices são menos severos quanto à indentificação da necessidade de N pela forrageira. Associado a esse fato, ocorreu uma resposta mais acelerada das plantas à adubação devido às condições climáticas propícias ao desenvolvimento vegetal, com maior incidência de precipitações pluviométricas, maiores temperaturas e maior incidência de radiação solar fotossinteticamente ativa, resultando em um maior número de parcelas desses tratamentos que exigiram adubação complementar.

O tratamento correspondente ao NSI de 0,85 não indicou necessidade de adubação para esse mesmo período, tanto pelo SPAD quanto pelos índices NDI e SAVI_{green}, coincidindo a tomada de decisão dos métodos de aquisição de dados para todas as repetições deste tratamento.

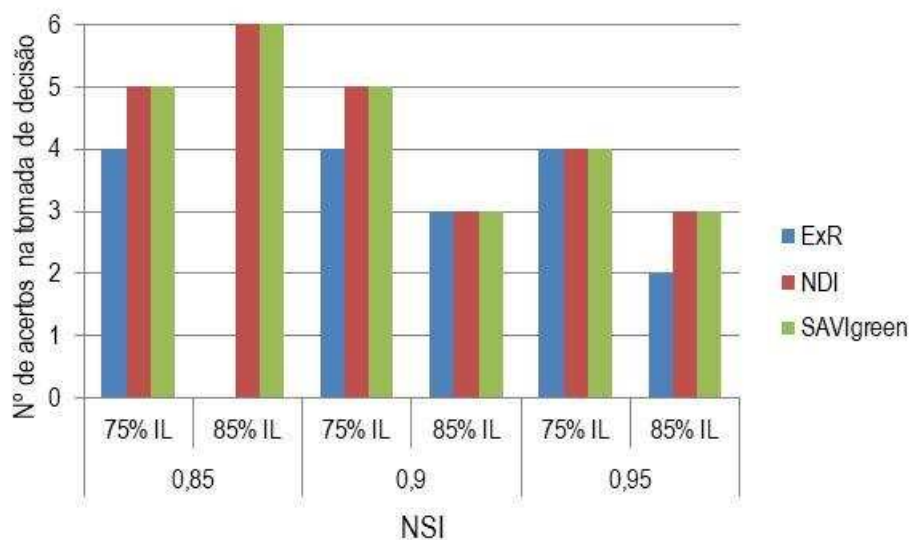


Figura 2.4 – Número de coincidências entre SPAD e IVC na tomada de decisão quanto à adubação nitrogenada pela metodologia do NSI no quarto ciclo de manejo.

O uso de câmera convencional como método de análise do *status* nutricional de N de pastagens de Xaraés apresentou-se como uma boa alternativa ao uso do SPAD, aplicando a metodologia do NSI, permitindo assim uma análise rápida e economicamente acessível. O processamento utilizado para o cálculo do NSI apresentou o desempenho desejado quanto à velocidade de processamento das imagens, entretanto, o uso de métodos de segmentação das imagens a fim de distinguir o dossel vegetal em relação ao solo e restos vegetais pode otimizar ainda mais os resultados, apesar da maior exigência de processamento computacional.

Para trabalhos futuros sugere-se o uso de metodologia para segmentação das imagens e uso da câmera para avaliação do *status* de N da forrageira em um dos tratamentos, em substituição ao SPAD. Além disso, o uso de um veículo aéreo não tripulado (VANT) pode otimizar a coleta de dados e minimizar a variação de luminosidade entre as parcelas que compõem os tratamentos.

2.4 CONCLUSÕES

- Conclui-se que índices de vegetação utilizando as bandas no visível podem ser utilizados como um método rápido para determinação das necessidades nutricionais de N em pastagens de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés através do NSI;
- Os índices NDI e SAVI_g apresentaram correlações significativas com as medições de N foliar com uso do SPAD para todos os períodos analisados, independente das condições ambientais.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adhikari, C.; Bronson, K. F.; Panuallah, G. M.; Regmi, A. P.; Saha, P. K.; Dobermann, A.; Olk, D. C.; Hobbs, P. R.; Pasuquin, E. **On-farm soil N supply and N nutrition in the rice-wheat system of Nepal and Bangladesh**. Field Crops Research, v. 64, p. 273–286, 1999.
- Andrade, A. C.; Fonseca, D. M. D.; Queiroz, D. S.; Salgado, L. T.; Cecon, P. R. **Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier)**. Ciência agrotécnica, p. 1643-1651, 2003.
- Barbosa, R. A.; Nascimento Jr. D.; Euclides, V. P. B.; Da Silva, S. C.; Zimmer, A. H.; Torres Jr., R. A. A. **Capim-tanzânia submetido a combinações entre intensidade e frequência de pastejo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, p. 329-340, 2007.
- Basso, B.; Dumont, B.; Cammarano, D.; Pezzuolo, A.; Marinello, F.; Sartori, L. **Environmental and Economic Benefits of Variable Rate Nitrogen Fertilization in a Nitrate Vulnerable Zone**. Science of the Total Environment, v. 545–546, p. 227–35, 2016. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.12.104>>.
- Basso, B.; Cammarano, D.; Fiorentino, D.; Ritchie, J.T. **Wheat yield response to spatially variable nitrogen fertilizer in Mediterranean environment**. European Journal of Agronomy, v. 51, p. 65–70, 2013.
- Basso, B.; Fiorentino, C.; Cammarano, D.; Schulthess, U. **Variable rate nitrogen fertilizer response in wheat using remote sensing**. Precision Agriculture, v. 17, p. 168–182, 2015. DOI: 10.1007/s11119-015-9414-9
- Carloto, M. N.; Euclides, V. P. B.; Montagner, D. B.; Lempp, B.; Difante, G. S.; Paula, C. C. L. **Desempenho animal e características de pasto de capim-xaraés sob diferentes intensidades de pastejo, durante o período das águas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 46, p. 97-104, 2011.
- Carnevalli, R. A.; Da Silva, S. C.; Bueno, A. A. O.; Uebele, M. C.; Hodgson, J.; Silva G. N.; Morais J. P. G. **Herbage production and grazing losses in *Panicum maximum* cv. Mombaça under four grazing managements**. Tropical Grasslands, v. 40, p. 165-176, 2006.
- Costa, J. P. R.; Caputti, G. P.; Galzerano, L.; Silva, W. L.; Ruggieri, A. C.; Malheiros, E. B. **Relative chlorophyll contents in the evaluation of the nutritional status of nitrogen from xaraes palisade grass and determination of critical nitrogen sufficiency index**. Acta Scientiarum. Animal Sciences, Maringá, v. 37, n. 2, p. 109-114, Apr.-June, 2015.
- Daughtry, C.S. T.; Walthall, C. L.; Kim, M. S.; de Colstoun, E. B.; McMurtrey, J. E. **Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance**. Remote Sensing Environment, v. 74, p. 229–239, 2000.
- Detmann, E.; Souza, M. A.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C.; Berchielli, T. T.; Saliba, E. O. S.; Cabral, L. S.; Pina, D. S.; Ladeira, M. M.; Azevedo, J. A. G. **Métodos para Análise de Alimentos**. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal. Visconde do Rio Branco – MG: Suprema, 2012.

Dias-Filho, M. B. **Diagnóstico das pastagens no Brasil**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, PA, 2014. (Documento, 402).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária: Centro Nacional de Pesquisa de Gado de Corte. O Capim- Xaraés (*Brachiaria brizantha* cv. Xaraés) na Diversificação das Pastagens de Braquiária. Campo Grande, p.36, 2004. (Documento, 149).

Eitel, J.U. H.; Long, D. S.; Gessler, P. E.; Smith, A.M. S. **Using in-situ measurements to evaluate the new RapidEye™ satellite series for prediction of wheat nitrogen status**. International Journal of Remote Sensing, v. 28, n. 18, p. 4183–4190, 2007.

Euclides, V. P. B.; Montagner, D. B.; Barbosa, R. A.; Nantes, N. N. **Manejo do pastejo de cultivares de *Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf e de *Panicum maximum* Jacq.** Rev. Ceres, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 808-818, nov/dez, 2014.

Flores, R. S., Euclides, V. P. B., Abrão, M. P. C, Galbeiro, S., Difante, G. S., Barbosa, R. A. **Desempenho animal, produção de forragem e características estruturais dos capins marandu e xaraés submetidos a intensidades de pastejo**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 37, n. 8, p. 1355-1365, 2008.

Francis, D. D.; Piekielek, W. P. **Assessing Crop Nitrogen Needs with Chlorophyll Meters**. SSMG-12, p. 1-4, 1999.

Giacomini, A. A.; Da Silva, S. C.; Sarmento, D. O. L.; Zeferino, C. V.; Souza Jr., S. J.; Trindade, J. K.; Guarda, V. A.; Nascimento Jr., D. **Growth of marandu palisadegrass subjected to strategies of intermitente stocking**. Scientia Agricola, v. 66, p. 733-741, 2009.

Gitelson, A. A.; Kaufman, Y. J.; Stark, R.; Rundquist, D. **Novel algorithms for remote estimation of vegetation fraction**. Remote Sensing of Environment, v. 80(1), p. 76-87, 2002.

Grace, P. R.; Robertson, G. P.; Millar, N.; Colunga-Garcia, M.; Basso, B.; Gage, S. H.; Hoben, J. **The contribution of maize cropping in the Midwest USA to global warming: a regional estimate**. Agricultural Systems, v. 104, p. 292–296, 2011.

Hawkins, T. S.; Gardiner, E. S.; Comer, G. S. 2009. **Modeling the relationship between extractable chlorophyll and SPAD-502 readings for endangered plant species research**. Journal for Nature Conservation. v. 17, p 123-127, 2009.

He, L.; Song, X.; Feng, W.; Guo, B. B.; Zhang, Y. S.; Wang, Y. H.; Wang, C. Y.; Guo, T. C. **Improved remote sensing of leaf nitrogen concentration in winter wheat using multi-angular hyperspectral data**. Remote Sensing Environment. p. 122-133. 2016.

Huete, A.R. **A soil ajusted vegetation index (SAVI)**. Remote Sensing Environment, v.25, p.295-309, 1988.

IBGE. Rebanho bovino brasileiro cresce e chega a 212,3 milhões de cabeças de gado. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/10/rebanho-bovino-brasileiro-cresce-e-chega-a-212-3-milhoes-de-cabecas-de-gado>>. Acesso em: 15 nov. 2016.

Jinwen L. **Determination of Canopy's Average SPAD Readings Based on the Analysis of Digital Images**. Agrotechnology, v. 3, p. 1-4, 2014.

Li, F.; Mistele, B.; Hu, Y.; Chen, X.; Schmidhalter, U. **Reflectance estimation of canopy nitrogen content in winter wheat using optimised hyperspectral spectral indices and partial least squares regression**. European Journal of Agronomy, v. 52, p. 198–209, 2014.

Li, Y.; Chen, D.; Walker, C. N.; Angus, J. F. **Estimating the nitrogen status of crops using a digital camera**, Field Crops Research, v. 118, p. 221–227, 2010.

Louhaichi, M.; Borman, M. M.; Johnson, D. E. **Spatially located platform and aerial photography for documentation of grazing impacts on wheat**. Geocarto International, v. 16, p. 65–70, 2001.

Mao, W.; Wang, Y.; Wang, Y. **Real time detection of between- row weeds using machine vision**. Paper No. 031004, ASAE Annual meeting, St Joseph, MI, USA, 2003.

MATLAB version R2009b. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc., 2017.

Meyer, G. E.; Camargo Neto, J. **Verification of color vegetation indices for automated crop imaging applications**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 63, p. 282–293, 2008.

Minolta Camera Co. Ltd., 1989. **Chlorophyll meter SPAD-502 Instructional Manual**. Minolta, Osaka, Japan. p. 22.

Netto, A. T.; Campostrini, E.; Oliveira, J. G.; Bressan-Smith, R. E. **Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll a fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves**. Scientia Horticulturae, v. 104, p. 199–209, 2005.

ONU. Brasil na COP 21. 2015. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blog&id=1162>>. Acesso em: 03 fev. 2017.

Ols, H. W.; Blankenau, K.; Brentrup, F.; Jasper, J.; Link, A.; Lammel, J. **Soil and plant-based nitrogen fertilizer recommendations in arable farming**. Journal of Plant Nutrition and Soil Science, v. 168, p. 414–431, 2005.

Pagola, M.; Ortiz, R.; Irigoyen, I.; Bustince, H.; Barrenechea, E.; Aparicio-Tejo, P.; Lamsfus, C.; Lasa, B. **New method to assess barley nitrogen nutrition status based on image colour analysis Comparison with SPAD-502**. Computers and Electronics in Agriculture, v. 65, p. 213–218, 2009.

Pedreira, B. C.; Pedreira, C. G. S.; Da Silva, S. C. **Estrutura do dossel e acúmulo de forragem de *Brachiaria brizantha* cultivar xaraés em resposta a estratégias de pastejo de desfolhação**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, p. 281-287, 2007.

Pedreira B. C.; Pedreira C. G. S.; Da Silva S. C. **Acúmulo de forragem durante a rebrotação de capim-xaraés submetido a três estratégias de desfolhação**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 38, p. 618-625, 2009.

Pereira, R. C.; Ribeiro, K. G.; Pereira, O. G.; Villela, S. D. J.; Silva, J. L. **Produtividade, composição químico-bromatológica e extração de minerais das cultivares marandu e xaraés nas estações do ano**. Veterinária e Zootecnia, v.18(4), p. 570-582, 2011.

Pérez, A. J.; Lopez, F.; Benlloch, J. V.; Christensen, S. **Color and shape analysis techniques for weed detection in cereal fields**. Computer and Electronics in Agriculture, v. 25, p. 197–212, 2000.

Prasertsak, A.; Fukai, S. **Nitrogen availability and water stress interaction on rice growth and yield**. Field Crops Research, v. 52, p. 249–260, 1997.

R Core Team (2016). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

Rasmussen, J.; Ntakos, G.; Nielsen, J.; Svendsgaard, J.; Poulsen, E. N.; Christensen, S. **Are vegetation indices derived from consumer-grade cameras mounted on UAVs sufficiently reliable for assessing experimental plots?** European Journal of Agronomy, v. 74, p. 75–92, 2016.

Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Viçosa - MG: 359p. 1999.

Robertson, M. J.; Llewellyn, R. S.; Mandel, R.; Lawes, R.; Bramley, R. G. V.; Swift, L.; Metz, N., O'Callaghan, C. **Adoption of variable rate fertiliser application in the Australian grains industry: status, issues and prospects**. Precision Agriculture, v. 13, 181–199, 2012.

Saberioon, M. M.; Amin, M.S. M.; Anuar, A. R.; Gholizadeh, A.; Wayayok, A.; Khairunniza-Bejo, S. **Assessment of rice leaf chlorophyll content using visible bands at different growth stages at both the leaf and canopy scale**. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 32, p. 35–45, 2014.

Saberioon, M. M.; Amin, M. S. M.; Aimrun, W.; Gholizadeh, A.; Anuar, A. A. R. **Assessment of colour indices derived from conventional digital camera for determining nitrogen status in rice plants**. Journal of Food, Agriculture & Environment, v. 11 (2), p. 655-662, 2013.

Silva Júnior, M. C.; Pinto, F. A. C.; Fonseca, D. M.; Queiroz, D. M.; Maciel, B. F. **Deteção do efeito da adubação nitrogenada em Brachiaria decumbens Stapf. utilizando um sistema de sensoriamento remoto**. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 37, n. 3, p. 411-419, 2008.

Simões, C. R.; Rossiello, R. O. P.; Graciosa, M. G.; Machado, M. L.; Silva, C. F. **Imagens multiespectrais para avaliação de índice de área foliar e massa seca do capim 'Tifton 85', sob adubação nitrogenada**. Ciência Rural, Santa Maria, v. 45, n. 4, p. 697-703, 2015.

Singh, P. K.; Parry, F. A.; Parveen, K.; Narayan, S.; Amin, A.; Vaidya, A. **Precision Farming and its role in vegetable production**. International Journal of Current Research, v. 3, n. 4, p. 74-81, 2011.

Tucker, C. J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**. Remote Sensing Environment, v. 8, p. 127–150, 1979.

Valadares Filho, S. C.; Chizzotti, M. L.; Paulino, P. V. R. **Exigências nutricionais de bovinos de corte no Brasil: desafios**. Revista Ceres. Viçosa: UFV. p. 488-495. 2009.

Villar, F. M. M.; Pinto, F. A. C.; Fonseca, D. M.; Queiroz, D. M.; Alcântara, G. R. **Sufficiency Index for defining nitrogen recommendation in *Brachiaria* grass pasture**. Bioscience Journal. Uberlândia, v. 31, n. 5, p. 1333-1340, Sept./Oct. 2015.

Wang, Y.; Wang, D.; Shi, P.; Omasa, K. **Estimating rice chlorophyll content and leaf nitrogen concentration with a digital still color camera under natural light**. Plant Methods, v. 10, p 1-36, 2014.

Wang, Y.; Wang, D.; Zhang, G.; Wang, J. **Estimating nitrogen status of rice using the image segmentation of G-R thresholding method**. Field Crops Research, v. 149, p. 33–39, 2013.

Woebbecke, D. M.; Meyer, G. E.; Von Bargen, K.; Mortensen, D. **Plant species identification, size, and enumeration using machine vision techniques on near-binary images**. SPIE Optics in Agriculture and Forestry, v. 1836, p. 208–219, 1992.

Xue, L.; Cao, W.; Zhu, Y.; Dai, T. **Monitoring leaf nitrogen status in rice with canopy spectral reflectance**. Agronomy Journal, v. 96, p. 135–142, 2004.

4. APÊNDICES

APÊNDICE - A

Resultados Analíticos das amostras de solos

Amostras*	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	SB	CTC (t)	CTC (T)	V	m	MO	P-rem	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	H ₂ O	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³				%		dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³				
C1	5,7	5,7	42	1,9	0,7	0,0	2,15	2,71	2,71	4,86	56	0	2,29	25,4	9,8	236,1	138,5	1,9	0,1
C2	5,4	7,6	43	1,8	0,7	0,0	3,13	2,61	2,61	5,74	45	0	2,86	25,4	10,5	245,1	130,0	1,9	0,1
C3	5,4	4,4	37	2,0	0,8	0,0	2,97	2,89	2,89	5,86	49	0	2,52	23,9	11,0	252,4	147,9	2,1	0,1
C4	5,2	6,6	40	1,9	0,7	0,1	3,80	2,70	2,80	6,50	42	4	2,86	23,9	6,7	286,7	149,7	2,3	0,1
C5	5,4	6,8	43	2,1	0,9	0,0	3,63	3,11	3,11	6,74	46	0	3,10	21,8	6,5	196,4	135,1	1,7	0,1
C6	5,5	5,2	36	2,4	1,0	0,0	3,13	3,49	3,49	6,62	53	0	3,10	21,8	6,4	194,6	140,3	2,2	0,0

pH em água, KCl e CaCl - Relação 1:2,5

P - K - Fe - Zn - Mn - Cu - Extrator Mehlich 1

Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol/L

H + Al - Extrator Acetato de Cálcio 0,5 mol/L - pH 7,0

B - Extrator água quente

SB = Soma de Bases Trocáveis

CTC (t) - Capacidade de Troca Catiônica Efetiva

CTC (T) - Capacidade de Troca Catiônica a pH 7,0

V = Índice de Saturação de Bases

m = Índice de Saturação de Alumínio

Mat. Org. (MO) - Oxidação: Na₂Cr₂O₇ 4N + H₂SO₄ 10N

P-rem = Fósforo Remanescente

*Consultar Figura 1.2

APÊNDICE – B

Algoritmo utilizado no processamento das imagens e cálculo dos índices de vegetação

```
clear all;
clc;

ciclo = 'x'%Entra com número do ciclo
modo = 'x'%Entra com o modo utilizado para realizar as imagens
      (ISO, neste caso)

xlsname =
'C:\Users\Lucas\Documents\Mestrado\Projeto_Dados\planilha_dados.xlsx
'

txtarqname =
strcat('C:\Users\Lucas\Documents\Mestrado\','TESTE_ciclo',ciclo,'_',
modo, '.txt')           %Nome do arquivo de saída de texto
arqid = fopen(txtarqname, 'w')
del = ';'               %Delimitador
nl = '\n'               %Próxima linha
header =
strcat('dianome',del,'diaposp',del,'ciclo',del,'trat',del,'repet',de
l,'repim',del,'modo',del,'exg',del,'exr',del,'exb',del,'exgr',del,'n
di',del,'savig',del,'gli',del,'spad',nl)           %Cabeçalho
fprintf(arqid,header);

mfolder =
strcat('C:\Users\Lucas\Documents\Mestrado\Projeto_Dados\Imagens_cicl
o',ciclo,'\')

diasnomes =
{'08abril';'12abril';'14abril';'15abril';'19abril';'21abril';'25abri
l';'27abril';'02maio'}%Entra com as datas das coletas de dados
diasaposp = [18,22,24,25,29,31,35,37,42] %dias pós primeira adubação

[xlsnum,xlstxt,xlsall] = xlsread(xlsname,'Leitura SPAD')
sizeall = size(xlsall)
nlines = sizeall(1)
ncols = sizeall(2)

for contdia = 1:length(diasnomes)
%contdia=1
    foldername = strcat(mfolder,diasnomes{contdia},'\',modo,'\')
%foldername = foldername{1}

    lista = dir(strcat(foldername,'*.JPG'))
    lista = {lista.name}

%Leitura dos dados de SPAD em planilha do excel
%Encontra a coluna do dia certo
    for i = 1:ncols
        if strcmp(xlsall{2,i},diasnomes{contdia})
            coldia = i;
        end
    end
end
```

```

for contarq = 1:length(lista)

nomearq = lista{contarq}
nomearqcomp = strcat(foldername,nomearq)

    trat = nomearq(1); %identificação do arquivo: tratamento
    repe = nomearq(2); %identificação do arquivo: repetição
    rpim = nomearq(3); %identificação do arquivo: repetição de
imagem

%Leitura dos dados de SPAD em planilha do excel
%Encontra a linha corresopndente ao tratamento e a repeticao
tstr = strcat('T',trat, '.',repe)
for i = 1:nlines
if strcmp(xlsall{i,2},tstr)
    lintrat = i
break
end
end

%Valor do SPAD
spad = xlsall{lintrat,coldia}

    imrgb=imread(nomearqcomp); %lê a imagem RGB

%Normalizacao dos valores RGB
c=double(imrgb);

    R=(c(:, :, 1));
    G=(c(:, :, 2));
    B=(c(:, :, 3));

    r=R./(R+G+B);
    g=G./(R+G+B);
    b=B./(R+G+B);

%Índice excesso de verde
ExG = 2*g-r-b;
exg = mean(mean(ExG));

%Índice excesso de verde
ExR = 1.4*r-g;
exr = mean(mean(ExR));

%Índice excesso de azul
ExB = 1.4*b-g;
exb = mean(mean(ExB));

%Excesso de verde menos excesso de vermelho
ExGR = 2*g-r-b-(1.4*r)+g;
exgr = mean(mean(ExGR));

%Índice de vegetação da diferença normalizada
NDI = (G-R)./(G+R);
ndi = mean(mean(NDI));

```

```

%Índice de vegetação ajustado ao solo - verde
L=0.5;
SAVIg = (1+L)*((g-r)./(g+r+L));
savig = mean(mean(SAVIg));

%Índice de folha verde
GLI=(2*G-R-B)./(2*G+R+B);
gli = mean(mean(GLI));

txtout =
strcat(diasnomes{contdia},del,num2str(diasaposp(contdia)),del,ciclo,
del,trat,del,repe,del,rpim,del,modo,del,num2str(exg),del,num2str(exr
),del,num2str(exb),del,num2str(exgr),del,num2str(ndi),del,num2str(sa
vig),del,num2str(gli),del,num2str(spad),nl);
fprintf(arqid,txtout);
end
end
fclose(arqid);

```