

Utilização do índice de vegetação RNIR nas diferentes doses de nitrogênio em cultura agrícola

Aline de Carvalho Gasparotto ¹
Marcos Rafael Nanni ¹
Anderson Antonio da Silva ¹
Carlos Antonio da Silva Junior ¹
Everson Cezar ¹
Franciele Romagnoli ¹
Rafael Moreno Campos ¹
Mônica Sacioto ¹

¹Universidade Estadual de Maringá (UEM), Avenida Colombo, 5790 –Maringá – Brasil
{alinegaspa; anderson_agrouem; franciele_romagnoli}@hotmail.com, {marcos.nanni;
carlos-junior89; rafaelmorenocampos; monicasacioto}@gmail.com e
eversoncezar@yahoo.com.br

Abstract - The objectives of this study were to propose vectors vegetation index RNIR extracted from digital images captured by a digital camera using different filters (720nm IR 850nm IR and UV-IR cut) compared with the rates obtained with the use of a spectroradiometer; evaluate the use of RNIR alone in the setting of linear models to discriminate between levels of nitrogen in corn, as well as their relation to the production components. The experiment was prepared in a greenhouse in a completely randomized design with 5 treatments with nitrogen rates of 0, 50, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹, with 10 repetitions. Evaluations were performed at 15, 30, 45, 60 and 80 days after emergence (DAE), with capturing images that covered the range of the visible and near infrared (350-1000 nm) using a series of filters on a Fujifilm IS Pro digital camera, plus the readings with the spectroradiometer. The data collected were processed using the Spring and Excel software to calculate the vegetation index. 80DAE to evaluate dried weight, fresh weight, leaf area and leaf nitrogen. The RNIR index did not show great sensitivity for evaluation of nitrogen deficiency in corn. The RNIR obtained by using the 850nm filter proved superior to 720nm in correlations with the spectroradiometer. The best times for discrimination of nitrogen by RNIR was 80DAE.

Palavras-chave: spectroradiometer, corn, sensor, espectroradiômetro, milho, sensor.

1. Introdução

Áreas agrícolas de difícil acesso bem como de grandes extensões geram dificuldade em seu monitoramento. Dessa forma, tem-se a necessidade de desenvolvimento de técnicas que auxiliem na identificação de estresses nutricionais, e componentes de produção.

No caso das culturas agrícolas, tem se utilizado a tecnologia de sensoriamento remoto para estabelecimento e acompanhamento de seu estado nutricional, estande cultural, produtividade e produção, dentre outros.

Segundo Wood et al. (1993), melhores técnicas devem ser desenvolvidas para administrar o N, pois existe grande aumento de quantidades de nitrato no solo, que acontece principalmente devido as altas concentrações de N aplicadas nos sistemas agrícolas tecnificados de produção de milho, mas o excesso de N que a planta não consome pode lixiviar e atingir o lençol freático, contribuindo para a eutrofização de lagos e fluxos de água.

Diversos pesquisadores concluíram que os índices de vegetação apresentam correlação com os níveis de N e com a produtividade (Scharf & Lory, 2002; Han et al., 2001).

A obtenção dos índices de vegetação tem sido realizada pelo uso de imagens digitais de sensores a bordo de plataformas orbitais, suborbitais e terrestres. Dentre os sensores terrestres destacam-se os espectrômetros e espectroradiômetros, que não geram imagens, mas registram a reflectância refletida e/ou absorvida dos alvos.

No entanto, todos esses equipamentos apresentam elevado custo, treinamento especializado e nem sempre há possibilidade de uso em áreas onde o acesso é limitante. Desta

forma, buscam-se alternativas mais econômicas, de fácil manuseio e que possam acessar diferentes áreas de plantio. Uma das alternativas tem sido o uso de fotografias aéreas.

Existem no mercado máquinas fotográficas digitais que podem apresentar sistemas de captura de imagens na faixa do visível e infravermelho próximo (350 a 1100 nm). No entanto não há pesquisas sobre a eficiência destes sistemas imageadores quanto ao seu uso na avaliação do estado nutricional das culturas.

A hipótese apresentada é que instrumentos fotográficos de baixo custo e de fácil acessibilidade podem ser utilizados na obtenção de índices de vegetação para discriminação de doses de N na cultura do milho, substituindo sensores sofisticados como o espectrorradiômetro.

Para isso este trabalho tem como objetivos propor modelos lineares de RNIR extraídos de imagens obtidas por câmeras fotográficas digitais convencionais e de espectrorradiômetro, avaliar a utilização do RNIR para discriminação de doses de nitrogênio no milho, avaliar a relação do RNIR com os componentes de produção do milho.

2. Metodologia de Trabalho

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação na Universidade Estadual de Maringá (UEM). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 5 tratamentos (0, 50, 100, 200 e 300kg.ha⁻¹ de N) e 10 repetições, sendo cada parcela constituída por um vaso com capacidade de 10 litros com uma planta de milho da cultivar 30A68 da Morgan. A fonte de N utilizada foi uréia, sendo a dosagem de 30 kg ha⁻¹ de N em semeadura, o restante das doses totais em cobertura.

O solo utilizado na experimentação foi um Latossolo Vermelho Distrófico sendo corrigido de acordo com a necessidade de adubação, e a saturação por bases (V%) foi elevada a 60%. A semeadura ocorreu no dia 13/09/2013 com 5 sementes por vaso, sendo desbastada no estádio de desenvolvimento V2 deixando apenas uma planta por vaso, sendo esta a mais sadia.

As leituras radiométricas foram realizadas aos 15, 30, 45, 60 e 80 DAE, por meio do espectrorradiômetro portátil Field Spec 3 com faixa espectral de 350nm a 2500nm, sendo utilizado o acessório ASD Plant Probe. Com os dados coletados determinou-se o índice de vegetação RNIR (Richardson & Wiegand, 1977).

Para a aquisição dos dados com a câmera fotográfica utilizou-se a câmera Fujifilm IS Pro 5 UVIR (12.1 megapixels) com sensor de Super CCD SR PRO (16 bits) com faixa espectral de 380nm - 1000nm. Para a captura das imagens estabeleceu-se um balanço de branco (WB) personalizado e pré-definido para cada filtro, sendo IR 720nm, IR 850nm e UV/IRcut. Todas as imagens foram capturadas no ISO100, formato TIFF e no tamanho L (4256 × 2848 pixels), sendo realizadas aos 15, 30, 45, 60 e 80 DAE com o uso de tripé para fixação da câmera ficando esta distante de 30 cm da folha com uma inclinação de 45°. As imagens no infravermelho foram modificadas para a escala de cinza pelo software FinepixViewer. Para cada foto realizou-se a média dos números digitais das bandas RGB, separadamente, de um quadro de 21x21 pixels, com o uso do software Spring 5.2.3. Os números digitais médios para os canais vermelho, verde e NIR foram determinadas para a porção da foto que recebeu maior intensidade luminosa. Com os números digitais foi realizado o índice de vegetação RNIR.

O rendimento do milho foi avaliado aos 80 DAE, sendo avaliada a massa seca, massa fresca da parte aérea, a área foliar e nitrogênio foliar (método Semi-micro-Kjeldahl com decomposição por digestão sulfúrica segundo Malavolta et al.(1997)).

As análises estatísticas dos dados foram avaliadas por meio dos testes Shapiro-wilk e Levene e análise de regressão pelo software Sisvar com $\alpha=0,05$, e também por correlação de Pearson $\alpha=0,05$ e $\alpha=0,01$ e teste t $\alpha=0,05$.

3. Resultados e Discussão

Os testes Levene, Shapiro Wilk e a análise de variância da regressão para as 50 amostras de cada atributo avaliados no milho apresentaram homogeneidade de variância e normalidade dos dados, somente a variável massa fresca não apresentou homogeneidade de variância invalidando sua análise de regressão. Todos os coeficientes dos parâmetros das regressões foram significativas pelo teste t ($p < 0,05$). O coeficiente de determinação e equação são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Equações ajustadas para a relação doses de N e atributos do milho.

Atributo	Equação ajustada	R ²
Massa seca	$Y = -0,0003x^2 + 0,1076x + 20,847$	0,8373*
Área foliar	$Y = -0,000004x^2 + 0,0012x + 0,1865$	0,9695*
Nitrogênio Foliar	$Y = 0,0054x + 1,2334$	0,9667*

* significativo ($p < 0,05$)

A massa seca de milho em função das doses de N aplicadas, teve como ponto de máximo 157,8 kg ha⁻¹ de N e 29,33 gramas de massa seca por planta. Dados similares foram encontrados por Araújo, et al.(2004) que em condições de campo encontraram resposta máxima para produção de massa seca, a dose de 180 kg ha⁻¹ de N.

As dosagens situadas acima de 157,8 kg ha⁻¹ de N apresentaram tendência de incrementar negativamente os valores da MS. Tal fato pode estar relacionado a possível influência negativa do excesso de N, contribuindo para alta desnitrificação do nutriente, maior volatilização do elemento, indução de toxidez na planta, e acidificação do solos pelas altas doses, um vez que a fonte de aplicação foi a uréia.

Para variável área foliar em relação as doses aplicadas de N, o ponto de máximo da regressão quadrática ajustada foi de 145,63 kg ha⁻¹ de N aplicados para 0,27 m² de AF, tendo-se, após esse ponto, valores decrescentes de área foliar com o aumento das doses de N.

Para o teor de nitrogênio foliar em relação as doses de N tem-se que, conforme se aumenta as doses de N aplicadas há um aumento das porcentagens de nitrogênio foliar nas plantas. Cerrato & Blackmer (1991) estimaram que o teor de N crítico na folha do milho é de 2,1%, este teor na equação ajustada corresponde a dose de 160,5 kg ha⁻¹ de N, sendo valor próximo a dose média encontrada de cerca de 150 kg ha⁻¹ de N que se obteve as maiores quantidades de massa seca e área foliar.

As correlações de pearson encontradas aos 80DAE entre os atributos avaliados do milho (MS, MF, AF, NF) e as doses de N aplicadas (Tabela 2). O teste t para a significância tem-se que cerca de 83,3% apresentam r ($p < 0,01$), indicando dessa forma, a forte relação entre os atributos avaliados do milho.

Tabela 2 - Resultado dos coeficientes de correlação de pearson e teste t aos 80DAE entre massa seca e área foliar (MS x AF), massa seca e massa fresca (MS x MF), massa seca e nitrogênio foliar (MS x NF), área foliar e massa fresca (AF x MF), área foliar e nitrogênio foliar (AF x NF) e massa fresca e nitrogênio foliar (MF x NF) nas doses de N aplicadas.

		MS x AF	MS x MF	MS x NF	AF x MF	AF x NF	MF x NF
Dose de nitrogênio	0	0,850**	0,695*	0,544 ns	0,754**	0,764**	0,744**
	50	0,828**	0,900**	0,766**	0,771**	0,632*	0,603*
	100	0,925**	0,774**	0,855**	0,817**	0,864**	0,683*
	200	0,908**	0,884**	0,937**	0,769**	0,940**	0,843**
	300	0,993**	0,853**	0,839**	0,819**	0,826**	0,912**

** significativo ($p < 0,01$); * significativo ($p < 0,05$); ns: não significativo

Foram efetuadas análises de regressão para verificar a existência de relação funcional significativa entre RNIR e as doses de N, em todos os períodos analisados. A faixa de valores obtida pelo RNIR estão entre 0,3-0,8. Os índices RNIR, são razões simples entre bandas do espectro visível e a banda do infravermelho próximo, para esse índice plantas mal nutridas apresentam valores maiores do que plantas nutricionalmente equilibradas.

Aos 15 e 30DAE todos os pressupostos básicos estatísticos foram atendidos e assim a análise de variância foi válida, porém nesse período nenhuma regressão foi significativa. Tal fato era esperado já que a adubação total ainda não havia sido finalizada estando o solo apenas com as doses de N utilizadas na semeadura até mesmo por que o N não é limitante ao milho até esse estágio de desenvolvimento.

Aos 45DAE fez-se as análises de variância da regressão e os pressupostos básicos para normalidade de distribuição e homogeneidade de variância. Porém os RNIR obtidos pelas imagens obtiveram significância para o teste de Levene de homogeneidade de variância tendo assim análise de variância não válida. O RNIR obtido pelo espectrorradiômetro obteve os pressupostos atendidos porém nenhuma regressão de primeiro ou segundo grau foi significativa pelo teste F a 0,05. Dessa forma, não obteve-se relação funcional entre as doses de N e o RNIR aos 45 DAE.

Segundo Wu et al.(2007), o estágio de desenvolvimento da cultura para a detecção de N é de extrema importância, pois caso a identificação for muito tardia, não haverá possibilidade para a correção da deficiência de N no mesmo ciclo da produção. Assim, o uso do RNIR não conseguiu detectar as dosagens de N de forma antecipada o que ajudaria na possibilidade de adubação do solo.

Aos 60DAE tem-se que o RNIR obtido pelas imagens apresentaram homogeneidade de variância e normalidade de distribuição, o que não aconteceu com o uso do espectrorradiômetro que obteve significância para o teste Levene, ou seja, sem homogeneidade de variância invalidando sua análise.

Em relação as estimativas dos parâmetros da regressão todas apresentaram significância para o teste t a 0,05 dessa forma as regressões encontradas são válidas. As equação encontradas e seu respectivo coeficiente de regressão são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Equações significativas ajustadas aos 60DAE entre RNIR e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.

Sensor	IV	Equação ajustada	R ²
Filtro 720nm	RNIR	$y=6.10^{-6}x^2-0,0026x+0,54$	0,99*
Filtro 850nm	RNIR	$y=8.10^{-6}x^2-0,0034x+0,71$	0,99*

* significativo (p<0,05)

Aos 60DAE, em todas as regressões significativas encontradas, os IV's apresentaram comportamento quadrático e com R² maiores de 90%.

O RNIR com o uso do filtro de 720nm, apresentou um ponto de mínimo de 217,5 kg ha⁻¹ de N para um índice de 0,26. O RNIR com o uso do filtro de 850nm apresentou um ponto mínimo de 211,5 kg ha⁻¹ de N proporcionando um índice de 0,35. Porém, esse resultado foi diferente do obtido por Sakamoto, et al. (2012) que com o uso da câmera digital compacta Nikon COOLPIX P5100 e filtro de 830nm, encontrou para o milho no estágio de aproximadamente V8 – V10 o valor de 0,58 para o RNIR.

Aos 80 DAE a relação entre doses de N e o RNIR obtido pelo espectrorradiômetro e pelo filtro de 850nm apresentaram os pressupostos básicos válidos e os desvios de regressão também foram não significativos validando as regressões significativas encontradas, com exceção do RNIR com o filtro de 720nm que apresentou significância para o desvio de regressão. A Tabela 4 apresenta as equações geradas pela análise de variância e seu respectivo coeficiente

de determinação. Todas estimativas dos parâmetros das regressões foram significativas pelo teste t ($p < 0,05$).

Tabela 4 – Equações significativas ajustadas aos 80DAE entre RNIR e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.

Sensor	IV	Equação ajustada	R ²
Filtro 850nm	RNIR	$y=9.10^{-6}x^2-0,0034x+0,69$	0,95*
Espectroradiômetro	RNIR	$y=3.10^{-5}x^2-0,0013x+0,35$	0,97*

* significativo ($p < 0,05$)

O RNIR com o uso do filtro de 850nm apresentou como um ponto de mínimo de 187,06 kg ha⁻¹ de N para um índice de 0,37. Porém, esses resultados foram diferentes do obtido por Sakamoto, et al. (2012) que com o uso da câmera digital compacta Nikon COOLPIX P5100 e filtro de 830nm, encontrou para o milho no estádio de aproximadamente V12 – V15 o valor de 0,47 para RNIR.

Já o RNIR com o uso do espectroradiômetro apresentou um ponto de mínimo de 218,33 kg ha⁻¹ de N para um índice de 0,21. De acordo com Souza, et al. (2009) no estádio V12-V15 do milho com o uso do radiômetro Crop Circle obteve-se em média valores de 0,11; 0,1; 0,08 para o RNIR com as respectivas doses de N 90, 180 e 270 kg ha⁻¹.

O comportamento quadrático do RNIR em relação as doses de N aplicadas, se deve ao fato de apresentar boa correlação com o teor de clorofila presente nas folhas das plantas, sendo dessa forma indiretamente relacionado ao teor de N. Segundo Bullock & Anderson (1998), a coloração verde das folhas acontece devido a presença da clorofila, com isso, o aumento da disponibilidade de N para as plantas gera um aumento na quantidade de clorofila presente, melhorando a percepção da cor verde da folha. Esse aumento da clorofila, apresenta um comportamento quadrático gerando o mesmo comportamento com os índices espectrais pois, apresenta um ponto de máximo chamado de ponto de maturidade fotossintética, a partir do qual se mantém invariável, mesmo com o aumento da concentração de N no tecido. Além disso, o comportamento curvilíneo do crescimento vegetal, fez com que os índices de vegetação apresentassem um melhor ajuste na análise de regressão com a utilização do modelo linear de segundo grau.

Os valores de RNIR apresentaram um ligeiro acréscimo com a aplicação de doses superiores a 200 kg ha⁻¹ de N, o que pode estar relacionado a possibilidade de desequilíbrio nutricional da planta com altas doses de N aplicadas (Dougherty & Rhykerd, 1985).

O índice RNIR não apresentou grande eficiência para se detectar as deficiência de N no milho pois o sensor padrão que é o espectroradiômetro somente apresentou uma regressão significativa aos 80 DAE data muito tardia para se realizar uma correção de N para a planta. Além disso, aos 60DAE somente as fotografias geraram regressões o que não permite realizar comparações com o espectroradiômetro com a finalidade de se realizar a mudança dos sensores. Dessa forma, pode-se inferir que a banda vermelha do espectro eletromagnético contradizendo a literatura não se mostra como a banda mais adequada para se detectar deficiência de N no milho. Resultados similares foram encontrados por Silva Jr. et al. (2007), no qual concluíram que o uso dos índices calculados com a banda verde, extraídos de imagens digitais, foram mais eficientes para a determinação do teor de N foliar de pastagem do que os índices calculados com a banda vermelha, em todos os períodos estudados.

A avaliação da relação entre RNIR do espectroradiômetro e das imagens infravermelhas obtidas com filtros de 720nm e 850nm, foi realizada pelo coeficientes de correlação de pearson (r). Analisando a Tabelas 5 verifica-se que os menores (r) foram encontrados aos 15DAE e os maiores aos 80DAE sendo todos significativos. Observa-se também o aumento de correlação entre RNIR do espectroradiômetro e das imagens sendo associado ao desenvolvimento da

cultura pois, nos estádios mais tardios da cultura o coeficiente aumenta. Dessa forma, o uso da câmera para detecção da deficiência de N no milho pôde ser utilizada aos 80DAE, em que houve correlação significativa em todos os índices estudados, sendo que com o uso do filtro de 720nm as correlações foram maiores que com o uso do filtro de 850nm, porém temos somente uma regressão significativa para ser utilizada com o filtro de 850nm. Aos 60DAE mesmo com correlações significativas e altas não se pode utilizar as regressões pois não se obteve regressão válida com o uso do espectrorradiômetro.

A baixa correlação entre os índices nos primeiros estádios de desenvolvimento do milho pode ser explicado devido ao alto CV das amostras nas primeiras avaliações como uso da câmera. Isso se deve, provavelmente, ao pequeno preenchimento do campo da imagem pelas folhas de milho, pois, para estabelecer um padrão metodológico para obtenção das imagens, algumas áreas não preencheram o campo de visada, apresentando áreas escuras de fundo que pode ter influenciado nos valores dos pixels referentes as folhas captadas nas imagens. Com o decorrer do desenvolvimento da planta de milho, o campo de visada foi ficando praticamente preenchido apenas com temas referente as folhas que, no infravermelho, apresentam reflectância elevada.

Tabela 5 – Coeficientes de correlação de pearson e teste t entre RNIR encontrado pelo uso do espectrorradiômetro e pelo uso do filtro de 720nm e o filtro de 850nm.

Dose de N	15 DAE					30DAE				
	0	50	100	200	300	0	50	100	200	300
(720nm)	0,5 ^{ns}	0,61 [*]	0,25 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,71 [*]	0,41 ^{ns}
(850nm)	0,33 ^{ns}	0,74 ^{**}	0,58 [*]	0,04 ^{ns}	0 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Dose de N	45 DAE					60DAE				
	0	50	100	200	300	0	50	100	200	300
(720nm)	0,34 ^{ns}	0,6 [*]	0,33 ^{ns}	0,68 [*]	0,6 [*]	0,66 [*]	0,88 ^{**}	0,7 [*]	0,87 ^{**}	0,63 [*]
(850nm)	0,33 ^{ns}	0,62 [*]	0,22 ^{ns}	0,6 [*]	0,7 ^{**}	0,56 [*]	0,9 ^{**}	0,79 ^{**}	0,84 ^{**}	0,66 [*]
Dose de N	80 DAE									
	0	50	100	200	300					
(720nm)	0,76 ^{**}	0,87 ^{**}	0,74 ^{**}	0,67 [*]	0,7 ^{**}					
(850nm)	0,65 [*]	0,92 ^{**}	0,66 [*]	0,71 [*]	0,6 [*]					

** significativo (p<0,01); * significativo (p<0,05); ^{ns} não significativo

A avaliação da relação do RNIR extraído com filtro de 720nm e de 850nm e RNIR do espectrorradiômetro com o teor de nitrogênio foliar, massa fresca, massa seca e área foliar, também foi avaliada pelas correlações de pearson (r) aos 80DAE.

De acordo com a Tabela 6 observa-se o espectrorradiômetro obteve as maiores correlações com os componentes de produção do milho, sendo todas significativas. E em relação as imagens o filtro de 850nm elas proporcionou maiores correlações significativas do que com o uso de 720nm.

Tabela 6 - Correlação de pearson e teste t para os índices de vegetação obtidos por meio das imagens extraídas com o uso do filtro de 720nm, a cada atributo avaliado no milho nas diferentes doses de N aplicadas.

	Dose de N	720nm-IR	850nm-IR	Espec.	720nm-IR	850nm-IR	Espec.
		RNIR	RNIR	RNIR	RNIR	RNIR	RNIR
Massa seca	0	-0,84 **	-0,87 **	-0,64 *	-0,78 **	-0,74 **	-0,78 **
	50	-0,88 **	-0,93 **	-0,84 **	-0,72 **	-0,82 **	-0,74 **
	100	-0,79 **	-0,63 *	-0,92 **	-0,72 **	-0,62 *	-0,73 **
	200	-0,51 ns	-0,62 *	-0,93 **	-0,67 *	-0,63 *	-0,81 **
	300	-0,42 ns	-0,42 ns	-0,82 **	-0,51 ns	-0,36 ns	-0,81 **
Área foliar	0	-0,92 **	-0,96 **	-0,95 **	-0,78 **	-0,79 **	-0,64 *
	50	-0,82 **	-0,88 **	-0,88 **	-0,75 **	-0,65 *	-0,67 *
	100	-0,82 **	-0,60 *	-0,89 **	-0,83 **	-0,66 *	-0,81 **
	200	-0,64 *	-0,80 **	-0,91 **	-0,64 *	-0,78 **	-0,90 **
	300	-0,39 ns	-0,41 ns	-0,76 **	-0,38 ns	-0,45 ns	-0,71 *

** significativo (p<0,01); * significativo (p<0,05); ns não significativo

Verifica-se que a variável que mais se destaca em sua correlação com os índices vegetativos é a variável área foliar e matéria seca. Todas as correlações dos índices RNIR se comportam como negativos, ou seja, indica que as duas variáveis se movem em sentidos contrários.

Os melhores coeficientes de correlações dos componentes do milho com os índices de vegetação foram encontrados com o uso do espectroradiômetro. Tal condição, se deve principalmente por não haver influência da atmosfera, bem como com a intensidade luminosa na data de avaliação, uma vez que foi utilizado o acessório ASD Plant Probe para as leituras no campo.

3. Conclusão

O índice RNIR não apresentou bons resultados para discriminação de nitrogênio no milho, o que pode-se inferir que a banda vermelha do espectroeletrômico não é a melhor escolha para essa finalidade.

O uso de câmeras fotográficas digitais com sensor infravermelho apresentam um futuro promissor, devido as altas correlações e semelhança das regressões encontradas, porém necessitam-se de melhores estudos em relação a luminosidade, tempo de exposição e distância focal para se capturar as imagens, pois este fato gera alto coeficiente de variação, diminuindo a precisão dos resultados encontrados.

O uso do filtro de 850nm com o índice RNIR mostrou-se superior ao filtro de 720nm.

Para o índice RNIR as melhores épocas para a discriminação das doses de nitrogênio foi a 80DAE.

Referências Bibliográficas

Bullock, D. G.; Anderson, D. S. Evaluation of the Minolta SPAD 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 4, p. 741-755, 1998.

Cerrato, M. E.; Blackmer, A. M. Relationships between leaf nitrogen concentrations and the nitrogen status of of corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.4, n.3, p.525-531, 1991.

Dougherty, C. T.; Rhykerd, C. L. The role of nitrogen in forage-animal production. In: Heath, M. E.; Barnes, R.F.; Metcalfe, D.S. (Eds.) **Forages: the science of grassland agriculture**. 5.ed. Iowa: State University, 1985. p.318-325.

Han, S.; Hendrickson, L.; Ni, B. Comparison do satellite remote sensing and aerial photography for ability to detect in-season nitrogen stress in corn. **ASAE Meeting**, Paper n. 01-1142, 2001.

Malavolta, E.; Vitti, G. C. & Oliveira, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. p.232-238

Richardson, A. J.; Wiegand, C. L. Distinguishing vegetation from soil background information. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.43, p.1541-1552, 1977.

Sakamoto, T.; Gitelson, A. A.; Nguy-Robertson, A. L.; Arkebauer, T. J.; Wardlow, B. D.; Suyker, A. E.; Verma, S. B.; Shibayama, M. An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status. **Agricultural and Forest Meteorology**. 154–155, p.113–126. 2012.

Scharf, P. C.; Lory, J. A. Calibration of remotely sensed corn color to predict nitrogen need. **Agronomy Journal**, v.94, p.397-404, 2002.

Silva Júnior, M. C.; Pinto, F. A. C.; Queiroz, D. M.; Sena Júnior, D. G.; Abrahão, S. A. Utilização de imagens multiespectrais para detectar diferentes níveis nutricionais na forrageira *Brachiaria decumbens*. In: Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE: 2007. P. 401-406.

Souza, E. G.; Rocha, T.; Uribe-Opazo, M. A.; Nóbrega, L. H. P. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, (Suplemento), p.865–872, 2009.

Wood, C. W.; Reeves, D. W.; Himelrick, D. G. Relationships between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status, and crop yield: A review. **Proceedings....** New Zealand: Agronomy Society., 1993. p.1-9.

Wu, J.; Wang, D.; Rosen, C. J.; Bauer, M. E. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. **Field Crops Research**, Amstredam, v.101, n.1, p.96-103, 2007.