

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
COLÉGIO POLITÉCNICO DE SANTA MARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA DE PRECISÃO**

**USO DE SENSOR DE VEGETAÇÃO PARA
AVALIAÇÃO DA NUTRIÇÃO NITROGENADA NA
CULTURA DO ALGODOEIRO E SENSOR DE SOLO
NO ESTUDO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA
CULTURA DO MILHO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Fabiano Maurício Tabaldi

Santa Maria, RS, Brasil

2013

**USO DE SENSOR DE VEGETAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA
NUTRIÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO
ALGODOEIRO E SENSOR DE SOLO NO ESTUDO DA
CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA CULTURA DO MILHO**

Fabiano Maurício Tabaldi

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Agricultura de Precisão, Área de Concentração Tecnologias em Agricultura de Precisão, Linha de pesquisa Manejo de sítio específico de solo e planta da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em Agricultura de Precisão.**

Orientador: Dr. Telmo Jorge Carneiro Amado

Santa Maria, RS, Brasil

2013

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Tabaldi, Fabiano Maurício

Uso de sensor de vegetação para avaliação da nutrição nitrogenada na cultura do algodoeiro e sensor de solo no estudo da condutividade elétrica na cultura do milho / Fabiano Maurício Tabaldi.-2013.

59p.; 30cm

Orientador: Telmo Jorge Carneiro Amado

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Colégio Politécnico, Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão, RS, 2013

1. Sensor óptico 2. Algodão 3. Milho. N Sensor 4. Veris. Argila 5. Soma de bases. Condutividade elétrica(CE) I. Amado, Telmo Jorge Carneiro II. Título.

© 2013

Todos os direitos autorais reservados a Fabiano Maurício Tabaldi. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

E-mail: fabianotabaldi@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Colégio Politécnico de Santa Maria
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

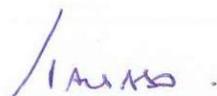
**USO DE SENSOR DE VEGETAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA
NUTRIÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO ALGODOEIRO E
SENSOR DE SOLO NO ESTUDO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
NA CULTURA DO MILHO**

elaborada por

Fabiano Maurício Tabaldi

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agricultura de precisão

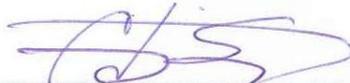
Comissão Examinadora:



Telmo Jorge Carneiro, Prof. Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Christian Bredemeier, Prof. Dr. (UFRGS)
(Avaliador)



Elódio Sebem, Prof. Dr. (UFSM)
(Avaliador)

Santa Maria, 13/12/2013

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força em continuar sempre.

Aos meus pais Alvecir e Nilza, pelo carinho, educação e pela confiança depositada em mim, não há palavras para expressar o quanto sou grato e me orgulho de vocês.

Aos meus irmãos, Vanessa, Vanusa e Júnior, pela força, afeto e carinho.

À Minha namorada Pâmella e a sogra Elizete, pelo apoio, carinho e amor que resultam em incentivo dia a dia.

Ao professor Telmo Amado, pela orientação, pelos ensinamentos passados e pela amizade.

À Empresa Stara pelo trabalho e a oportunidade em crescer profissionalmente, em especial aos colegas de trabalho de engenharia.

À Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão.

Aos professores do PPGAP pelos ensinamentos durante a realização deste curso, em especial ao professor Elódio Sebem.

Aos amigos Douglas Dalla Nora e Leandro de Nadai pela amizade e por toda a ajuda na realização desse trabalho.

Aos colegas de curso pela amizade, em especial ao Cassiano, Rafael, Rodrigo, Leonardo, Ronie. Muito obrigado a todos vocês pelo convívio nos finais de semana de aula.

As pessoas da Fazenda Brasholanda, em especial ao Rodrigo.

À banca examinadora deste trabalho, composta pelo professor Dr. Antônio Luis Santi, pelo professor Dr. Christian Bredemeier e pelo professor Dr. Elódio Sebem.

À todos vocês, muito obrigado!

“Para se ter sucesso, é necessário amar de verdade o que se faz, caso contrário, levando em conta apenas o lado racional, você simplesmente desiste.”
(Steve Jobs)

“Acreditar é o primeiro passo de vários.”
(Eldo Gome)

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Agricultura de Precisão
Universidade Federal de Santa Maria

USO DE SENSOR DE VEGETAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DA NUTRIÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO ALGODOEIRO E SENSOR DE SOLO NO ESTUDO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA NA CULTURA DO MILHO

AUTOR: FABIANO MAURÍCIO TABALDI
ORIENTADOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Data e Local da Defesa: Santa Maria, 13 de dezembro de 2013.

O uso de técnicas de sensoriamento remoto pode eliminar a necessidade de extensivas amostragens na lavoura diminuindo o custo da amostragem além de aumentar a acurácia dos resultados obtidos. Nesse contexto, o presente trabalho teve os seguintes objetivos: I- avaliar a eficácia de um sensor óptico na determinação do estado nutricional nitrogenado na cultura do algodoeiro submetido a diferentes doses de N e correlacionar com a produtividade da cultura. II- determinar a condutividade elétrica em duas áreas de classificação Latossolos, através do uso de sensor e relacionar esse índice com os demais parâmetros químicos do solo e com a produtividade da cultura do milho. Em relação ao objetivo I, o experimento foi conduzido no ano agrícola de 2012/13 em um Latossolo Vermelho Amarelo com a cultura do algodoeiro. O Delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram das seguintes doses de N: 0, 45, 90, 130, 150, 180 e 220 kg ha⁻¹ aplicados aos 43 dias após semeadura (DAS). As leituras de índice de vegetação foram realizadas em três épocas, correspondentes aos 63, 75 e 97 DAE com o sensor óptico N-Sensor ALS® (YARA). Em relação ao objetivo II foi avaliada a condutividade elétrica de duas áreas com uso do sensor Veris® 3100, para as profundidades de 0-30 cm e 0-90 cm. As avaliações foram realizadas no ano agrícola de 2012/13 e a cultura cultivada, em ambas as áreas, foi a do milho. Os parâmetros químicos do solo e a condutividade elétrica foram comparados pelo método de regressão múltipla do tipo 'stepwise'. Sobre o objetivo I, a leitura do índice de vegetação do sensor apresentou alta correlação com as doses de N nos três estágios avaliados, essa correlação também foi verificada com os parâmetros altura de planta, massa seca e N absorvido. A maior produtividade da cultura do algodão foi alcançada com a dose de 152 kg ha⁻¹ de N. Com relação ao objetivo II, a CE da Área 1 para a camada de 0-30 cm foi explicada pelos fatores V% e Mg e para a camada de 0-90 cm pelo fator SB. Para a Área II a CE na camada de 0-30 cm foi explicada pela argila, CTCpH7,0 e SB e para a camada de 0-90 cm pelo teor de argila. O aumento da produtividade da Área 1, apresentou ajuste quadrático com o aumento da CE em ambas as profundidades avaliadas, já na Área 2, o aumento da produtividade se correlacionou linearmente com o aumento da CE em ambas as profundidades.

Palavras-chave: Sensor óptico. Algodão. Milho. N Sensor. Veris. Argila. Soma de bases. Condutividade elétrica (CE).

ABSTRACT

Master Dissertation
Post-Graduate Program in Precision Agriculture
Federal University of Santa Maria

USE OF VEGETATION SENSOR FOR EVALUATION OF THE NITROGEN NUTRITION ON THE COTTON CROP AND SOIL SENSOR IN THE STUDY OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN CORN CROP

AUTHOR: FABIANO MAURÍCIO TABALDI
ADVISOR: TELMO JORGE CARNEIRO AMADO
Date and Place of Defense: Santa Maria, December 13, 2013.

The use of remote sensing techniques can eliminate the need for extensive sampling in the field, reducing the cost of sampling and increase the accuracy of the results. In this context, the present study had the following objectives: I- evaluate the effectiveness of an optical sensor for determining the nitrogen nutritional status of cotton crop subjected to different doses of N and correlate with the crop yield. II- to determine the electrical conductivity in two fields of classification Oxisols by using a sensor and relate this index with other chemical soil parameters and productivity of corn. Regarding the first objective, the experiment was conducted in the agricultural year of 2012/13 on a Oxisol with the cotton crop. The experimental design was a randomized block design with seven treatments and three replications. Treatments consisted of the following N rates: 0, 45, 90, 130, 150, 180 and 220 kg ha⁻¹ applied at 43 days after sowing (DAS). The vegetation index readings were taken at three different times, corresponding to 63, 75 and 97 DAE with the optical sensor N-Sensor ALS ® (YARA). Concerning the objective II electrical conductivity was evaluated of two areas using the Veris ® 3100 sensor to depths of 0-30 cm and 0-90 cm. The evaluations were conducted in the agricultural year 2012/13, the cultivated culture, in both areas, was the corn. Chemical parameters of the soil and the electrical conductivity were compared by method of multiple regression 'stepwise'. Regarding the first objective, the vegetation index reading by sensor showed high correlation with N rates in three stages evaluated, this correlation was also found with the parameters plant height, dry matter and N absorbed. The highest yield of cotton was achieved with rate of 152 kg ha⁻¹ of N. Regarding the objective II, the EC of Area 1, for 0-30 cm layer, was explained by factors V% and Mg and in the layer of 0-90 cm by SB factor. For Area II, the EC in the 0-30 cm layer, was explained by clay content, CTCpH7,0 and SB and for 0-90 cm layer by clay content. Increasing productivity of Area 1 showed a quadratic fit with increasing EC at both depths evaluated, in Area 2 increased productivity correlated linearly with increasing EC at both depths.

Keywords: Optical Sensor. Cotton. Maize. N Sensor. Veris. Clay. Sum of bases. Electrical Conductivity (EC).

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1. Croqui da área experimental e croqui de leituras realizada pelo sensor20
- Figura 2. Relação entre as doses de N aplicadas e a leitura do N Sensor em três estádios da cultura do algodoeiro. Primeira Avaliação (63 DAE); Segunda Avaliação (75 DAE); Terceira Avaliação (97 DAE).....24
- Figura 3. Relação entre massa seca (kg ha^{-1}) com leitura do N Sensor e com % de N absorvido pela cultura para a Primeira Avaliação (63 DAE) (a), Segunda Avaliação (75 DAE) (b) e Terceira Avaliação (97 DAE) (c)25
- Figura 4. Efeito das doses de N (kg ha^{-1}) na matéria seca (kg ha^{-1}) em três estádios do algodoeiro. Primeira Avaliação (63 DAE); Segunda Avaliação (75 DAE); Terceira Avaliação (97 DAE)26
- Figura 5. Produtividade da cultura do algodão sobre efeito de diferentes doses de N (kg ha^{-1}). MET (Máxima eficiência técnica); MEE (Máxima eficiência econômica).....28

ARTIGO II

- Figura 1. Mapas em 3D da área experimental demonstrando a variação de declividade (a) e a variação na condutividade elétrica (b) para a Área 240
- Figura 2. Relação entre a condutividade elétrica (mS m^{-1}) na camada de 0-30 cm com a Saturação por bases (V%) (a) e o teor de magnésio do solo (b) para a Área 144
- Figura 3. Relação entre a condutividade elétrica (mS m^{-1}) da camada de 0-30 cm com a soma de bases do solo (SB) para a Área 145
- Figura 4. Relação entre a condutividade elétrica (mS m^{-1}) da camada de 0-30 cm e da camada de 0-90 cm com o teor de argila do solo (g kg^{-1}) para a Área 146
- Figura 5. Relação entre a condutividade elétrica (mS m^{-1}) da camada de 0-30 cm com o teor de argila (a), CTC pH7,0 (b) e soma de bases (c) para a Área 248
- Figura 6. Relação entre a condutividade elétrica (mS m^{-1}) da camada de 0-90 cm com o teor de argila para a Área 250
- Figura 7. Relação entre a produtividade do milho (Kg ha^{-1}) e a condutividade elétrica (mS m^{-1}) do solo na camada de 0-30 cm e na camada de 0-90 cm para a Área 1 (a) e para a Área 2 (b)52
- Figura 8. Relação entre índice de vigor determinado pelo N-Sensor e produtividade da cultura do milho na Área 153

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

Tabela 1. Média dos atributos químicos avaliados antes da implantação dos experimentos.....19

Tabela 2. Matriz de correlação entre Doses de N (Kg ha^{-1}) aplicado, Massa Seca (kg ha^{-1}), Nabsorvido (%), Nexportado (kg ha^{-1}), Altura (cm) e a Leitura do Sensor em três estádios de desenvolvimento da cultura do algodoeiro23

ARTIGO II

Tabela 1. Média dos atributos químicos avaliados antes da implantação dos experimentos.....37

Tabela 2. Coeficientes de regressão múltipla pelo método “stepwise” entre os atributos químicos do solo e a Condutividade Elétrica das camadas de 0-30 e 0-90 cm para as Áreas 1 e 242

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
ARTIGO 1 – CONDIÇÃO NUTRICIONAL NITROGENADA DA CULTURA DO ALGODOEIRO AVALIADA POR SENSOR ÓPTICO	14
1.1. Resumo.....	14
1.2. Introdução	15
1.3. Material e métodos	18
1.3.1. Caracterização da Área experimental.....	18
1.3.2. Delineamento experimental e Tratamentos utilizados	19
1.3.3. Avaliações realizadas	20
1.3.4. Análise estatística	21
1.4. Resultados e discussão	21
1.4.1. Eficiência do uso do N Sensor na cultura do algodão e correlação entre os fatores de produtividade e os tratamentos	21
1.4.2. Efeito das doses de N na produtividade do algodão.....	26
1.5. Conclusões	28
1.6. Literatura citada.....	29
ARTIGO 2 – USO DE SENSOR NA AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM LATOSSOLO E SUA RELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO	33
2.1. Resumo.....	33
2.2. Introdução	34
2.3. Material e métodos	36
2.3.1. Caracterização das áreas experimentais.....	36
2.3.2. Descrição das Áreas experimentais e avaliações realizadas	37
2.3.3. Análise estatística	39
2.4. Resultados e discussão	39
2.4.1. Relação entre atributos do solo e a condutividade elétrica.....	40
2.4.2. Relação entre Condutividade Elétrica e a Produtividade da cultura do Milho.....	50
2.5. Conclusões	53
2.6. Literatura citada.....	54
CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura de precisão (AP) tem como princípio o gerenciamento localizado dos sistemas agrícolas a partir do uso de recursos fundamentais como o mapeamento dos fatores de produção, juntamente a isso são utilizadas ferramentas para a tomada de decisão e aplicação localizada de insumos. O rendimento das culturas, no ponto de vista histórico, tem sido estudado como o principal fator de variação espacial e temporal (BLACKMORE, 1994). A divisão dessas áreas na forma de talhões reflete a tentativa de identificar locais de menor ou maior fertilidade, com maior ou menor incidência de doenças e plantas daninhas (FRAISSE, 1998).

De acordo com Molin (2001), AP é um conjunto de tecnologias e procedimentos utilizados com o intuito de aperfeiçoar as atividades realizadas na lavoura e no sistema de produção, tendo como elemento essencial o gerenciamento da variabilidade espacial e temporal da produção e dos fatores interligados a ela. Do ponto de vista econômico, a utilização das tecnologias advindas da agricultura de precisão possibilita a priorização de investimentos em áreas onde o potencial de produção seja mais efetivo, garantindo de maneira mais objetiva o retorno econômico (PORTZ, 2011).

De acordo com Portz (2011) a agricultura atual ainda está focada em áreas compreendidas como homogêneas, levando o conceito da necessidade média para a aplicação de insumos, não considerando as necessidades específicas de cada região individual da lavoura. Atualmente, assume-se que o manejo da fertilidade do solo apresenta um elevado potencial de aumentar ou manter em constância a produtividade das culturas, com a aplicação de doses variadas de fertilizantes e demais corretivos da acidez do solo (HEERMANN et al., 2002). Dentre os fatores mais significativos que pode ser variado pelo produtor, para influenciar na economia dos sistemas produtivos, é a aplicação correta de fertilizantes nitrogenados.

A amostragem de solo em grade pode fornecer uma base acurada para a geração de mapas de aplicação de fertilizantes em taxa variável, apesar disso, medidas indiretas e não destrutivas fornecidas pelo uso de sensores decorrem como uma alternativa para tomada de decisão sobre o manejo de uma determinada cultura (MOGES et al., 2004). O sensoriamento remoto baseia-se na tomada de

informações sobre um objeto sem ocorrer contato físico (COLWELL, 1983). Essas informações obtidas, normalmente dependem da energia eletromagnética refletida pelos alvos a serem determinados (CAMPBELL, 1987). O sensor remoto é um dispositivo que responde à radiação eletromagnética de uma determinada faixa do espectro eletromagnético (STEFFEN et al., 1981). As frações de energia transmitida, refletida e absorvida pelos objetos tendem a variar de acordo com suas propriedades físico-químicas, estrutura e posição em relação à fonte de radiação incidente (NOVO, 1992).

Segundo Wright et al. (2004) o sensoriamento remoto é considerado uma ferramenta acurada para o monitoramento das condições das culturas agrícolas, especialmente do trigo e do milho. De acordo com Tisdale et al. (1993), dentre os nutrientes utilizados pelas plantas, o nitrogênio (N) é considerado o mais importante e essencial para o desenvolvimento adequado das culturas, além disso é o mais preocupante no que diz respeito a contaminações do meio ambiente. O nitrogênio é um integrante da clorofila, sendo ele, o primeiro pigmento a absorver a energia luminosa necessária para os processos fotossintéticos (PORTZ, 2011). Quando o N é utilizado adequadamente, juntamente com os demais nutrientes, pode acelerar o desenvolvimento da cultura resultando em maior retorno econômico.

De acordo com Kluthcouski et al. (2006), em condições adversas, principalmente em relação a matéria orgânica, umidade e textura do solo, época e método de aplicação do fertilizante, o nitrogênio é um elemento que se perde facilmente por lixiviação, volatilização e desnitrificação no solo. Como decorrência disso, a eficiência de sua utilização pelas plantas torna-se baixa, situando-se entre 50 e 60%, podendo diminuir em sistemas mal manejados.

Atualmente, existem alguns sensores ópticos para determinação do N na planta, o Yara N-Sensor foi o primeiro dentre estes sensores, lançado no mercado no ano 1999. Nos dias atuais o Yara N-Sensor encontra-se na sua segunda geração, permanecendo como um dos principais sensores destinados à aplicação de N em taxa variável e em tempo real, especialmente nas culturas anuais (PORTZ, 2011).

O uso de sensores que fazem uma leitura do estado nutricional da cultura em uma visão oblíqua, somada a avaliação da biomassa agrícola diminuída da biomassa da superfície do solo pode levar a medidas mais confiáveis, especialmente

na fase inicial de crescimento das culturas onde a superfície do solo tem maior influência sobre a leitura do sensor (MISTELE et al., 2004).

No algodão, a utilização de fertilizantes e corretivos é responsável por 30% do custo com insumos e cerca de 15% do custo total de produção da cultura, além disso, o N é um dos principais limitantes para a produtividade do algodoeiro, tanto em áreas irrigadas como no cultivo de sequeiro, entretanto, elevadas doses aplicações podem reduzir a produção e a qualidade da fibra (HUTMACHER et al., 2004).

Em casos que o suprimento de N excede a exigência da cultura, esse excesso é perdido por escoamento superficial e lixiviação, decorrendo na contaminação de ecossistemas aquáticos e do lençol freático (WOOD et al., 1993).

A perda de N para o meio ambiente representa perda econômica para os agricultores, entretanto, a redução no suprimento de N pode resultar em redução de produtividade, devido a isso surge a necessidade de aumentar a eficiência no uso do N em sistemas agrícolas a partir de uma maior sincronia entre a demanda de N pela cultura e o fornecimento do nutriente durante a safra (CASSMAN et al., 2002).

A deficiência de N causa mudanças no desenvolvimento e composição das folhas das plantas e, indiretamente, mudanças na distribuição espectral de radiação refletida pelas folhas de plantas deficientes (TARPLEY et al., 2000). Dessa forma, métodos que avaliam a distribuição espectral de radiação refletida pelas plantas são considerados bons indicadores para estimar doses de N a serem aplicadas nas culturas (SCHÄCHTL et al., 2005). A avaliação da refletância espectral é o processo de investigação sem contato e não destrutiva para a determinação de características das culturas, como exemplo da deficiência de N (TUMBO et al., 2002).

Os índices de vegetação (IVs) são definidos como a combinação de dados de duas ou mais dessas distribuições espectrais, as quais são selecionadas com o objetivo de melhorar a relação desses dados com as variáveis da vegetação (ROSSATO, 2011). O índice de vegetação ideal deve ser capaz de responder variações no estado fenológico da vegetação, sem sofrer fortes influências por variações de tipos de solo, independentemente das condições atmosféricas (HUETE, 1996).

Em relação a sensores de solo, Adamchuk et al. (2004) relataram que embora exista uma grande variedade de sensores do solo, a maioria deles envolve um dos seguintes métodos de medição: os sensores elétricos e eletromagnéticos, que

medem a resistividade, a condutividade, a capacitância ou a indutância elétrica, sendo afetados pela composição do solo. A maioria dos sensores fornece um sinal de saída, que é afetado por mais de uma característica agrônômica do solo.

Sensores elétricos e eletromagnéticos são instrumentos de medida baseados em circuitos elétricos e usados para determinar a habilidade de determinados meios em conduzir ou acumular a carga elétrica. Se o solo for usado como tal meio, suas características físicas e químicas podem afetar o comportamento do circuito e, assim, os parâmetros elétricos medidos (JOHNSON et al., 2005).

A variabilidade espacial da produtividade das culturas tem sido atribuída, entre outros fatores, as diferenças nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo (JOHNSON et al., 2005). No entanto, os métodos disponíveis para a determinação desses atributos, em geral, são caros e demandam grande quantidade de tempo e mão-de-obra. Nesse contexto, tem crescido o interesse por métodos que permitam determinar a variabilidade espacial de atributos do solo de maneira rápida e barata, de forma a proporcionar a obtenção de um grande número de medidas por unidade de área, como a condutividade elétrica do solo (CE) (MOLIN; CASTRO, 2008).

A CE é definida como sendo a habilidade que o solo tem em transmitir corrente elétrica (KITCHEN et al., 1996), sendo dependente de uma série de características e propriedades do solo, como o conteúdo de água, o teor de argila e matéria orgânica, e a concentração de íons na solução do solo (MOLIN; CASTRO, 2008).

Para mensurar a CE, geralmente são utilizados o sistema de indução eletromagnética e o de contato direto (RHOADES; CORWIN, 1984). A indução eletromagnética é uma técnica para medir a condutividade elétrica em solos sem contato com o mesmo, sendo um método de amostragem não destrutiva.

Nesse contexto o presente trabalho teve os seguintes objetivos: I- Avaliar a eficácia de um sensor ótico na determinação do estado nutricional da cultura do algodão submetido a diferentes doses de N e correlacionar com a produtividade da cultura. II- Determinar a condutividade elétrica de um Latossolo pelo uso de um sensor e relacionar esse índice com os demais parâmetros químicos e físicos do solo.

ARTIGO 1 – CONDIÇÃO NUTRICIONAL NITROGENADA DA CULTURA DO ALGODOEIRO AVALIADA POR SENSOR ÓPTICO

1.1. Resumo

A produtividade e qualidade da cultura do algodão estão estreitamente relacionadas à adubação nitrogenada, dessa forma a correta aplicação desse nutriente é essencial para a obtenção de altas produtividades. Nesse contexto, o presente trabalho teve o objetivo de avaliar a eficácia de um sensor óptico na determinação do estado nutricional da cultura do algodão submetido a diferentes doses de N e correlacionar com a produtividade da cultura. O experimento foi conduzido no ano agrícola de 2012/13 em um Latossolo Vermelho Amarelo na região Oeste do Estado da Bahia. O Delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com sete tratamentos e três repetições. Os tratamentos consistiram das seguintes doses de N: 0, 45, 90, 130, 150, 180 e 220 kg ha⁻¹ aplicados aos 43 dias após semeadura (DAE) da cultura do algodão. As leituras de índice de vegetação foram realizadas em três épocas, correspondentes aos 63, 75 e 97 DAE com o sensor óptico N-Sensor ALS® (YARA). Adjacente aos estágios e pontos de leitura de IV, foram realizadas coletas de plantas para determinação da matéria seca (MS) e N absorvido, e a medição das alturas de plantas. A leitura do sensor e os demais fatores avaliados foram submetidos a análise de correlação de Pearson, a produtividade e as doses de N foram comparadas por regressão. A leitura do índice de vegetação do sensor apresentou alta correlação com as doses de N nos três estágios avaliados, essa correlação também foi verificada com os parâmetros altura de planta, massa seca e N absorvido. A maior produtividade da cultura do algodão foi alcançada com a dose de 152 kg ha⁻¹ de N.

Palavras-chave: Sensor óptico. Algodão. N Sensor. Massa seca. N absorvido. Nitrogênio.

1.2. Introdução

A cultura do algodão é uma das principais plantas domesticadas pelo homem, tendo registros de seu uso a mais de 4.000 anos e, atualmente, é cultivado comercialmente em mais de 65 países. Essa cultura caracteriza-se por apresentar rigorosos critérios de avaliação de qualidade e altos custos de produção (ROSSATO, 2011).

A produtividade e qualidade da cultura do algodão estão estreitamente relacionadas à adubação nitrogenada, sendo também um importante componente do custo de produção da cultura (CARVALHO et al., 2007). De acordo com Boquet et al. (1994), o uso excessivo da adubação nitrogenada resulta no aumento do tamanho dos frutos na parte superior da planta, com um significativo aumento na produtividade. Porém, de acordo com os mesmos autores, a partir de que os frutos da parte superior da planta são aumentados, o excesso do nutriente faz com que o tamanho dos frutos da parte inferior e mediana da planta seja diminuído, sem efeito significativo na produção. O uso excessivo de N estimula o crescimento vegetativo prolongando assim o ciclo do algodoeiro, sendo esse efeito, em alguns casos não desejável, especialmente em regiões onde ocorrem chuvas durante a colheita ou ataques tardios de pragas e/ou doenças (ROSSATO, 2011). Neste sentido, Frye; Kairuz (1990) relataram que o excesso de N produz plantas vigorosas, porém com pouca frutificação e abertura tardia e irregular dos capulhos.

O N é aplicado em elevadas quantidades na cultura do algodoeiro, o qual extrai em média, 60 a 70 kg ha⁻¹ de N para a produção de uma tonelada de algodão em caroço, havendo necessidade de adubação para complementar o N fornecido pelo solo (CARVALHO et al., 2007). A adubação deve ser realizada de forma racional com intuito de reduzir desperdícios de fertilizantes, contaminações ambientais e perda de competitividade devido ao aumento excessivo dos custos.

Pesquisas anteriores evidenciaram que informações a campo sobre variabilidade de N são muito valiosas para o entendimento da derivação de recomendações de fertilizantes de N para sítios específicos da área agrícola em questão (LINK et al., 2005). Com isso, o uso de sensores tem sido intensificado nos últimos anos aumentando o número de estudos visando a otimização de bandas e índices espectrais com mais sensibilidade para estimar o conteúdo de N nas

culturas, esses estudos tem mostrado que o uso do índice de vegetação é essencial para predizer doses ótimas de N (REUSCH, 2003; SCHMIDHALTER et al., 2003, MISTELE et al., 2004).

A nutrição de N em plantas tem sido estimada a partir do uso de métodos baseados em medições de refletância por sensores remotos ativos ou passivos. Os métodos em questão baseiam-se em adquirir dados em tempo real a partir do uso de sensores com o intuito de controlar operações em locais específicos da lavoura enquanto a máquina se desloca, os dados coletados refletem o estado atual da planta em alta resolução espacial, permitindo assim, a detecção das necessidades de N em tempo real, transformando essas necessidades em uma taxa de fertilizante nitrogenada a ser aplicada poucos segundos após a medição do sensor (PORTZ, 2011).

O sensoriamento remoto tem sido utilizado com o intuito de estimar variáveis das culturas como a radiação fotossinteticamente ativa, índice de área foliar, conteúdo de clorofila nas folhas (TUMBO et al., 2002), cobertura do solo, acumulação total de matéria seca (TUCKER et al., 1981), conteúdo de água, produtividade, conteúdo de nitrogênio (SOLIE et al., 2002) e falhas de plantio (FRASSON, 2007).

A espectrometria óptica baseia-se no fato de que os pigmentos como a clorofila absorvem a radiação nos comprimentos de onda dentro do espectro do visível, enquanto isso, a radiação no infravermelho próximo é refletida pela folha (MINOLTA, 1989). Nesse sentido a determinação da clorofila, indiretamente, determinaria o estado nutricional da planta, reiterando que grande parte do N é encontrado nessa molécula (MINOLTA, 1989; RAMBO et al., 2004).

O sensor N-Sensor Yara (YARA INTERNATIONAL ASA, OSLO, NORWAY) é um escâner multiespectral acoplado sobre o trator (BERNTSEN et al., 2006). Este equipamento é constituído de dois diodos com espectrômetros, enquanto é analisada a luz refletida por quatro lentes com um ângulo oblíquo sobre as culturas (aproximadamente 25% do total da área é escaneada) no intervalo de captações de luz do status da cultura, o sistema mensura o ambiente luminoso para correção do sinal de refletância e garantir leituras estáveis enquanto ocorre mudança de condições de irradiância (ZILLMAN et al., 2006).

O N-Sensor pode determinar o nível de N das culturas através das características da refletância nos comprimentos de onda selecionados entre 450 a

900 nm, e a partir daí, calcular o IV (índice de vegetação) e outros índices usados para criar algoritmos e com isso determinar a dose ideal de N a ser aplicada em uma determinada área (ROSSATO, 2011).

Jasper et al. (2009) reportaram que a relação da reflectância dos comprimentos de onda de 730 e 760 nm, utilizadas pelo N-Sensor[®] ALS, foi a que melhor estimou a quantidade de N absorvida pelas plantas. Portz et al. (2012) encontraram elevada correlação entre as leituras do N-Sensor[®] ALS (índice de vegetação - IV) com a matéria seca (MS) e com a quantidade de N absorvido pela cana de açúcar. Porém, este sensor apresentou menor eficiência quando a quantidade de biomassa foi reduzida, em estádios iniciais, ou quando a quantidade foi muito elevada, em estádios avançados da cultura. Neste último estágio, observa-se o efeito de saturação que também foi reportada para os demais sensores de cultura que utilizam índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (POVH et al., 2008; POVH, 2011).

Entre as principais vantagens da fertilização nitrogenada com o N-Sensor[®] destacam-se o incremento de produtividade entre 3,0 a 13,0 % e a redução na quantidade distribuída de N em até 14,0 % (SINGH et al., 2006). Outros trabalhos reportaram incrementos menores na produtividade dos cereais, variando de 0,8 a 5,1 % (MAYFIELD; TRENGOVE, 2009), ou até mesmo não encontraram aumento da produtividade Raun et al. (2005). A fertilização nitrogenada com sensor de espectrometria ótica pode ainda incrementar de 1,7 a 2,4 % o teor de proteína nos grãos de trigo (JØRGENSEN; JØRGENSEN, 2001).

Nesse contexto o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficácia de um sensor ótico na determinação do estado nutricional da cultura do algodão submetido a diferentes doses de N e correlacionar com a produtividade da cultura.

1.3. Material e métodos

1.3.1. Caracterização da Área experimental

O presente estudo foi realizado em uma área comercial localizada na Fazenda “BRASHOLANDA” situada no oeste Baiano no município de Correntina entre as coordenadas 46° 01'23.53" W, 13°47'22.05"S com cerca de 920 m de altitude. O clima da região é classificado como Aw, tropical úmido e seco com estação chuvosa bem definida no verão e a estação seca durante o inverno segundo Köppen (1948). O índice pluviométrico varia de 1300 a 1900 mm ano⁻¹ com uma temperatura média anual próxima de 21°C. Os dados meteorológicos do período avaliado foram obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dados estes coletados da Estação meteorológica do Município de Correntina. O solo da região é um Latossolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2006) com textura franco arenosa e relevo muito plano.

A área onde foi realizado o experimento foi explorada por 25 anos com bovinocultura de corte extensiva sendo subsolada em 2012 para o cultivo do algodão. O experimento foi conduzido no período correspondente ao ano agrícola de 2012/2013 com a cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*). A cultivar utilizada foi a 975WS[®] (Bayer) e a semeadura foi realizada no dia 6 de dezembro de 2013, com espaçamento de 0,76 m entre linhas e uma média de oito sementes por metro linear, realizada de forma mecanizada com semeadora para plantio direto dotada de sistema a vácuo para distribuição das sementes. A população final foi de aproximadamente 105000 plantas ha⁻¹ com decréscimo de 45000 plantas sobre a meta inicial de 150000. A cultura antecessora ao algodão foi a soja.

A adubação de semeadura foi realizada de acordo com os atributos químicos avaliados anteriormente a implantação do experimento e a expectativa de rendimento (Tabela 1). Foi aplicado 250 kg ha⁻¹ do fertilizante formulado 11-52-00 (MAP) correspondente a 27 kg ha⁻¹ de N e 130 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e posteriormente foi realizada adubação a lanço em superfície com 200 kg ha⁻¹ de KCl.

Tabela 1. Média dos atributos químicos avaliados antes da implantação dos experimentos.

Prof.	pH _{CaCl}	Al ⁽¹⁾	Ca ⁽²⁾	Mg ⁽³⁾	K ⁽⁴⁾	CTC _{pH 7,0}	P	V% ⁽⁵⁾	m% ⁽⁶⁾	Argila	MOS ⁽⁷⁾
cm		*****cmo _c dm ⁻³ *****					mg dm ⁻³	**** %****	**** %****	****g kg ⁻¹ ****	
0-15 cm	5,0	0,05	0,9	0,4	0,29	4,1	72,0	39,5	1,22	150,0	14,0

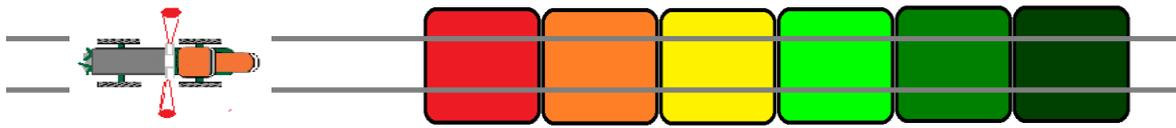
(1)Alumínio. (2) Cálcio⁻³. (3)Magnésio. (4)Potássio. (5)Saturação por Bases. (6)Saturação por alumínio.

(7)Matéria orgânica do solo.

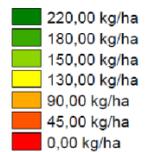
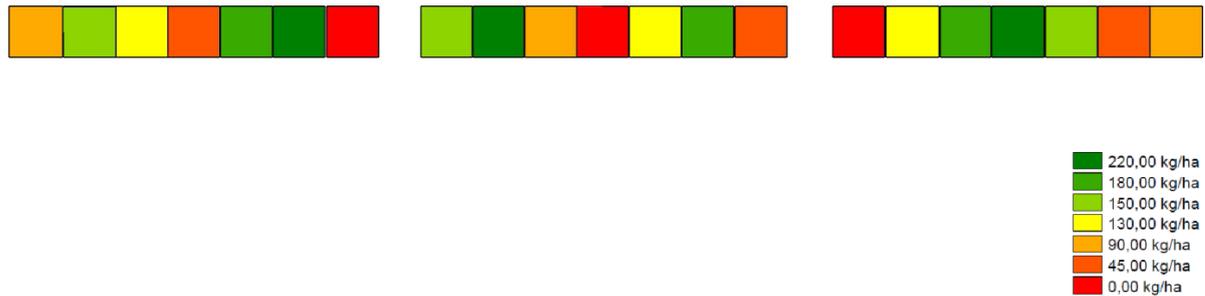
1.3.2. Delineamento experimental e Tratamentos utilizados

O Delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com sete tratamentos e três repetições totalizando 21 unidades experimentais. Cada parcela experimental possui as dimensões de 27m x 27m, com 5 m de bordadura restando uma área útil de 240 m² para realização das avaliações. Os tratamentos consistiram das seguintes doses de N: 0, 45, 90, 130, 150, 180 e 220 kg ha⁻¹ de N (Figura 1).

A aplicação dos tratamentos foi realizada a lanço e a fonte de N foi o fertilizante uréia, tratada com inibidor de 'urease'. A aplicação dos tratamentos foi realizada aos 43 dias após semeadura (DAS). As doses utilizadas tinham como intuito estabelecer a curva de resposta a N em função da produtividade para a cultura do algodoeiro e avaliar a interpretação do sensor óptico para os diferentes tratamentos em diferentes estádios fenológicos. Como o objetivo principal do trabalho foi avaliar a eficiência do sensor na cultura do algodão, as doses de N não foram parceladas sendo aplicadas na fase inicial da cultura. De acordo com Schröder et al. (2000), parcelas ricas em N são um pré-requisito para serem utilizadas como referência para realizar a diagnose corrigindo efeitos de coloração na cultura que não são causadas por N. Entretanto, recomenda-se que a adubação nitrogenada em cobertura seja realizada no máximo até 55-60 dias após a emergência, parcelada em duas aplicações, em que a primeira deve ser realizada por ocasião do aparecimento dos primeiros botões florais, na fase B1 (25-30 dias após a emergência), e a segunda no início do florescimento (fase F1) (MAPA, 2006).



Croqui de leituras com o Sensor N-Sensor[®] ALS



Croqui experimental implantado na área

Figura 1. Croqui da área experimental e croqui de leituras realizadas com o sensor.

1.3.3. Avaliações realizadas

As leituras de índice de vegetação (IV) foram realizadas em três épocas, correspondentes aos 63 DAE (compreendendo o estágio do início do florescimento), 75 DAE (compreendendo o estágio do florescimento pleno) e 97 DAE (compreendendo o estágio da abertura dos capulhos). Adjacente aos estádios e pontos de leitura de IV, foram realizadas coletas de plantas para determinação da matéria seca (MS), N absorvido, e a medição da altura das plantas.

As leituras de IV foram realizadas com o sensor óptico N-Sensor ALS[®] (YARA) acoplado ao distribuidor de fertilizante autopropelido Hércules 5.0 (STARA) (Figura 1). O N-sensor ALS (Active Light Source) é um sensor ativo que emite luz própria, compensando as interferências da luminosidade do ambiente. Como o sensor não possui uma calibração interna, existente para outras culturas, apenas foram utilizados os valores de IV, descartando qualquer outra recomendação de N realizada pelo equipamento.

Para determinação de MS foram coletadas em quatro fileiras de dois metros lineares no centro de cada parcela através do corte na superfície do solo, e posteriormente secas em estufa de aeração forçada a 65° C. Posteriormente a pesagem, essas amostras foram moídas para determinação do teor de N no tecido e calculado o N total absorvido, seguindo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995).

A altura de planta foi determinada com o uso de uma trena, realizando a medição da superfície do solo ao ápice de cinco plantas por parcela. A colheita foi realizada no dia 04 de Julho de 2013, a partir de coleta manual de capulhos em dois metros lineares de duas fileiras.

1.3.4. Análise estatística

O efeito dos tratamentos, a leitura do sensor e a relação entre as variáveis relacionadas, a produtividade e condição vegetativa foram submetidas a análise de correlação linear de Pearson. O efeito dos tratamentos com a produtividade e da efetividade do sensor com as doses de N e teor de matéria seca foi avaliado por meio de regressão (SAS, 2009).

1.4. Resultados e discussão

1.4.1. Eficiência do uso do N Sensor na cultura do algodão e correlação entre os fatores de produtividade e os tratamentos

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 2, a leitura do sensor apresentou alta correlação com as doses de N, indicando que o sensor apresenta alta eficiência para diagnosticar a absorção de N e com isso prescrever a dose de N a ser utilizada na cultura do algodão. O IV dado pela leitura do sensor aumentou linearmente com o aumento das doses de N em todos os estágios avaliados

(Figura 2). O maior coeficiente de determinação foi alcançado na segunda época de avaliação na cultura ($R^2= 0,96$)), ou seja, quando a área foliar do algodoeiro encontrava-se mais densa cobrindo uma maior superfície do solo. Isso ocorre devido a que nas fases iniciais de crescimento a cobertura do solo pela cultura é reduzida, conforme a planta se desenvolve, ocorre um aumento da cobertura vegetal reduzindo a influência do solo na resposta espectral (ROSSATO, 2011). Esses resultados são condizentes com as afirmações de Epiphanio et al. (1996) ao observarem que, a medida em que a cultura se desenvolve a média dos índices de vegetação aumenta e a variância diminui fazendo com que o coeficiente de variação seja cada vez menor.

O R^2 alcançado na terceira avaliação foi um pouco inferior ao das demais épocas, porém ainda foi considerado alto (Figura 2). Esse resultado deve-se ao fato da planta do algodoeiro entrar em estágio de maturação e conseqüentemente aumenta a variação espectral (EPIPHANIO et al., 1996).

Essa alta correlação entre o sensor e a condição nutricional da cultura comprova que o uso de técnicas de sensoriamento remoto pode eliminar a necessidade de extensivas amostragens na lavoura (GRAEFF; CLAUPEIN, 2003).

Apenas foi verificada correlação entre a leitura do sensor e N no tecido para a primeira avaliação (Tabela 2), indicando que houve saturação de N pelas plantas, nas demais avaliações (BLACKMER; SCHEPERS, 1994). Entretanto, o sensor foi eficiente em predizer a quantidade de N absorvido pela cultura nas três épocas avaliadas (Tabela 2), isso se deve ao fato do N ser um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela cultura do algodoeiro que, considerando condições climáticas, cultivar, produtividade e doses de fertilizante, pode-se utilizar de 125 a 210 kg de N por tonelada de fibra produzida (CARVALHO et al., 2007). Esse resultados confirmam os obtidos por Malavolta et al. (2004) e Reis et al. (2006), em que os autores observaram que apenas as leituras do índice de clorofila aos 65 DAE apresentaram relação linear altamente significativa com os teores foliares de N no algodoeiro.

A altura de planta apresentou elevadas correlações com a dose de N e a leitura do sensor, principalmente na primeira e na terceira avaliação (Tabela 2). Como o N é constituinte de muitos componentes da célula vegetal, se a deficiência por N se desenvolve lentamente os caules se tornam pronunciadamente delgados e, comumente, lenhosos, devido ao acúmulo excessivo de carboidratos que não

podem ser utilizados na síntese de aminoácidos e outros compostos nitrogenados (TAIZ; ZEIGER, 2004), dessa forma a grande variação nas doses de N provocou diferenças no desenvolvimento do caule do algodão e conseqüentemente causou variação na altura de planta.

Tabela 2. Matriz de correlação entre Doses de N (Kg ha^{-1}) aplicado, massa Seca (kg ha^{-1}), Nabsorvido (%), Ntecido (kg ha^{-1}), Altura de planta (cm) e a Leitura do Sensor em três estádios de desenvolvimento da cultura do algodoeiro.

Primeira Avaliação (63 DAE)						
	Leitura do Sensor	Doses de N	Massa Seca	N _{tecido}	N _{absorvido}	Altura
Leitura do Sensor	1,00					
Doses de N	0,98***	1,00				
Massa Seca	0,94**	0,95**	1,00			
N _{tecido}	0,85*	0,92**	0,89**	1,00		
N _{absorvido}	0,94**	0,96***	0,99****	0,93**	1,00	
Altura	0,96***	0,99****	0,92**	0,92**	0,94**	1,00
Segunda Avaliação (75 DAE)						
	Leitura do Sensor	Doses de N	Massa Seca	N _{tecido}	N _{absorvido}	Altura
Leitura do Sensor	1,00					
Doses de N	0,98****	1,00				
Massa Seca	0,97***	0,92**	1,00			
N _{tecido}	0,57 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,00		
N _{absorvido}	0,94**	0,87*	0,98****	0,73 ^{ns}	1,00	
Altura	0,85*	0,92**	0,77*	0,65 ^{ns}	0,75*	1,00
Terceira Avaliação (97 DAE)						
	Leitura do Sensor	Doses de N	Massa Seca	N _{tecido}	N _{absorvido}	Altura
Leitura do Sensor	1,00					
Doses de N	0,97***	1,00				
Massa Seca	0,92**	0,98***	1,00			
N _{tecido}	0,69 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1,00		
N _{absorvido}	0,96***	0,99****	0,98****	0,56 ^{ns}	1,00	
Altura	0,97***	0,99****	0,96***	0,60 ^{ns}	0,99****	1,00

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade; *** significativo a 0,1% de probabilidade; **** significativo a 0,01% de probabilidade

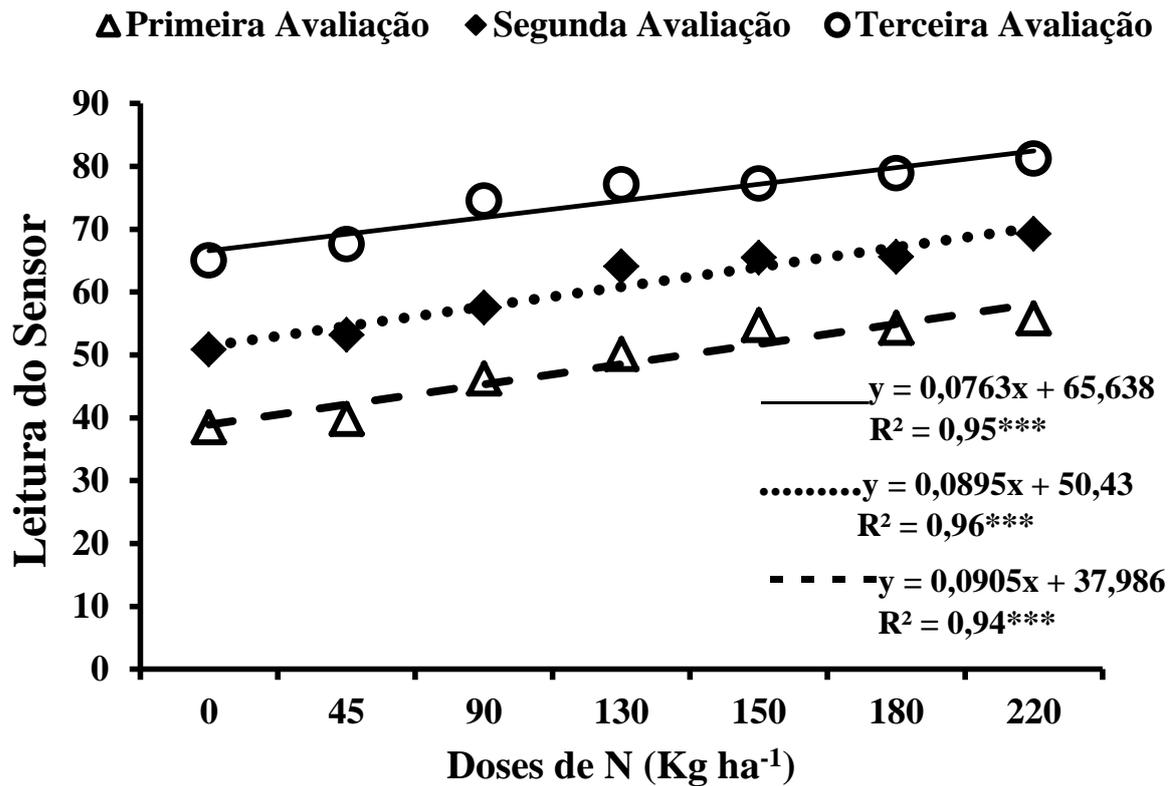


Figura 2. Relação entre as doses de N aplicadas e a leitura do N Sensor em três estádios da cultura do algodoeiro. Primeira Avaliação (63 DAE); Segunda Avaliação (75 DAE); Terceira Avaliação (97 DAE).

Bem como as doses de N, a leitura do sensor apresentou alta correlação com a massa seca das plantas nos três períodos avaliados (Tabela 2). O aumento da massa seca se ajustou de forma linear e positiva ao aumento do índice de vegetação dado pelo sensor (Figura 2). A segunda avaliação aos 75 DAE apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,96$) com a leitura do sensor entre os três períodos avaliados (Figura 2a). Isso se deve ao maior desenvolvimento da planta nesse período, ocorrendo um aumento da cobertura vegetal e diminuição da influência do solo na resposta espectral (ROSSATO, 2011), aumentando assim a sensibilidade do sensor. Motomiya et al. (2009) observaram diferenças acentuadas na matéria seca do algodão a partir da adubação nitrogenada com doses variando de 50 a 200 kg⁻¹. Ainda, em relação a Figura 2, pode-se observar que os teores de N absorvido pela planta apresentaram correlação linear e altamente significativa com o aumento da massa seca das plantas em todos os períodos avaliados, afirmando a elevada necessidade da cultura por esse nutriente.

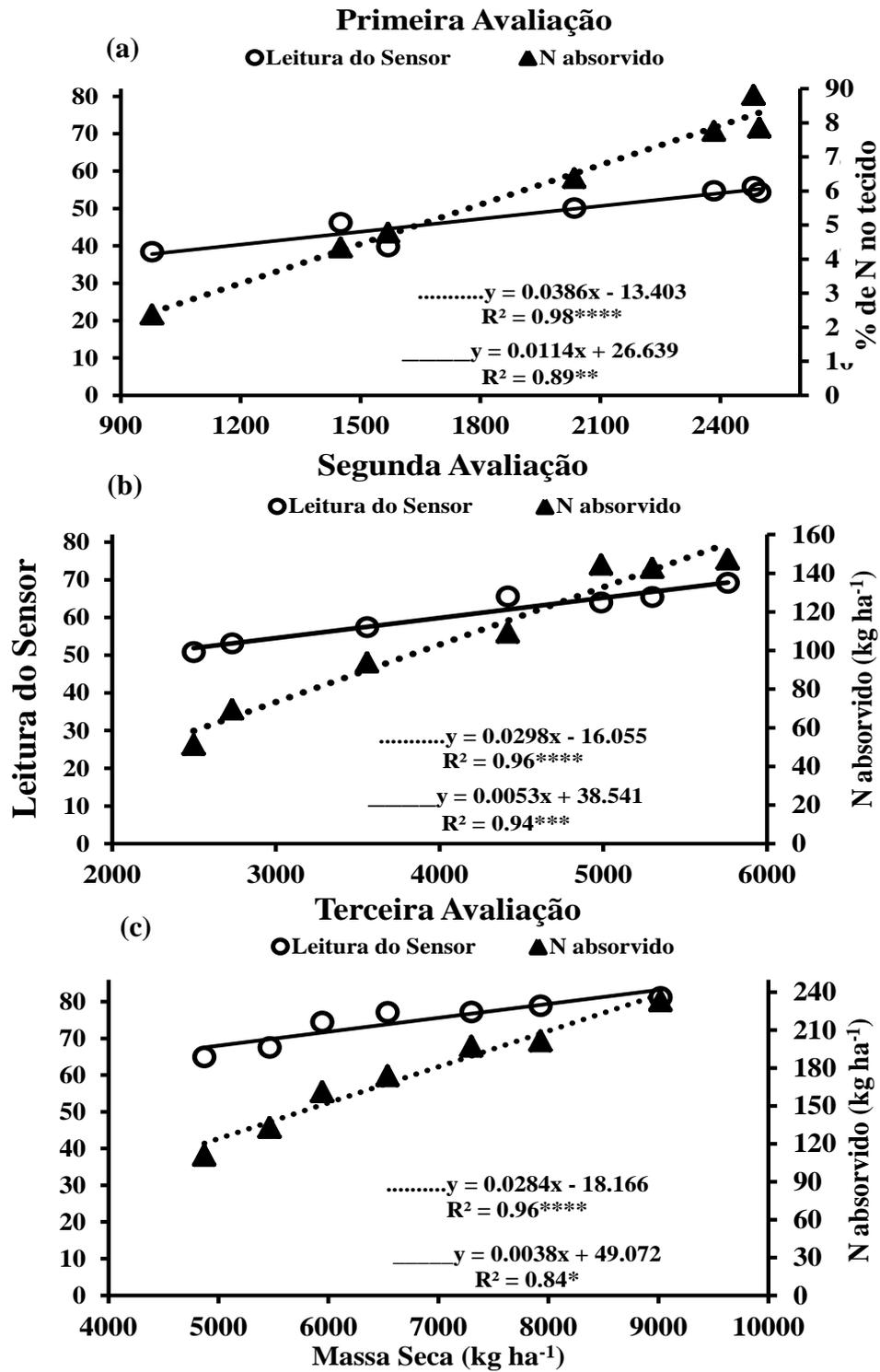


Figura 3. Relação entre massa seca (kg ha^{-1}) com leitura do N Sensor e com % de N absorvido pela cultura para a Primeira Avaliação (63 DAE) (a), Segunda Avaliação (75 DAE) (b) e Terceira Avaliação (97 DAE) (c).

1.4.2. Efeito das doses de N na produtividade do algodão

A produção de massa seca aumentou de forma linear com o aumento das doses de N nos três estágios avaliados (Figura 3). Esse resultado corrobora aos encontrados por (ROSSATO, 2011), em que o autor observou a máxima produção de biomassa do algodão na máxima dose aplicada, embora isso não tenha refletido em máxima produtividade que foi atingida em uma dose intermediária de N. Segundo Staut; Kurihara (2001), o nitrogênio quando aplicado em doses elevadas aumenta o desenvolvimento vegetativo da planta em detrimento da produção e formação tardia dos frutos do algodoeiro. Durante a terceira Avaliação (97 DAE), foi observado o maior coeficiente de determinação (0,96) entre doses de N e massa seca, indicando que esse período foi crítico para o uso de N na cultura do algodoeiro, embora o período crítico para aplicação de N na cultura do algodoeiro vai até os primeiros 55-60 DAE (MAPA, 2006).

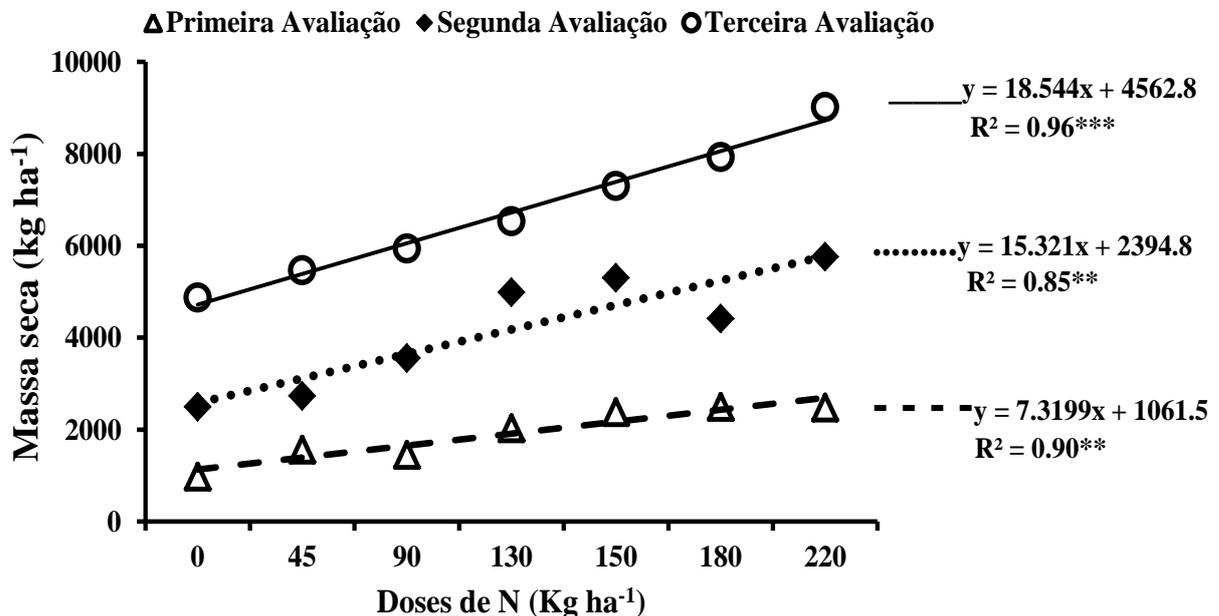


Figura 4. Efeito das doses de N (kg ha⁻¹) na matéria seca (kg ha⁻¹) em três estádios do algodoeiro. Primeira Avaliação (63 DAE); Segunda Avaliação (75 DAE); Terceira Avaliação (97 DAE).

As doses de N afetaram de forma quadrática a produtividade do algodão (Figura 4), de acordo com a equação ajustada a dose de N que alcançou a máxima

produtividade, ou seja, a máxima eficiência técnica (MET) foi de 169,1 Kg ha⁻¹ de N atingindo a produtividade de 7132,7 Kg ha⁻¹ de algodão. Tomando a máxima eficiência econômica (MEE) como 90% da MET, a dose mais economicamente viável foi de 152,2 Kg ha⁻¹ de N o que resultaria, de acordo com a equação ajustada em 7098,5 Kg ha⁻¹ de algodão (Figura 4). Esse resultado corrobora aos encontrados por Anamari et al. (2012), onde a autora aponta que a produtividade do algodoeiro aumentou significativamente com as doses aplicadas ajustando-se a um modelo quadrático, em que o ponto de máxima produtividade o qual, conforme a derivação da equação de regressão, seria atingido apenas na dose de 195 kg ha⁻¹.

O elevado consumo da cultura é justificado porque o algodoeiro extrai elevadas quantidades de nitrogênio para atingir altas produtividades, havendo necessidade de alta adubação nitrogenada para complementar a quantidade fornecida pelo solo (ANAMARI et al., 2012). Na maioria dos experimentos realizados na região do cerrado, em solos de textura média a argilosa e em condições de sequeiro, respostas econômicas foram obtidas com doses de 100 a 130 kg ha⁻¹ de nitrogênio em cobertura, nesses solos, respostas a doses mais elevadas podem ocorrer em função da baixa eficiência de absorção da cultura devido, por exemplo, a um problema de compactação, que restringe o crescimento das raízes, entretanto a aplicação de doses muito elevadas de nitrogênio reduz o rendimento de fibras (MAPA, 2006).

O ajuste quadrático da produtividade demonstra que em altas doses de N a produtividade passa a diminuir (Figura 4), esse efeito é decorrente do aumento da absorção de nitrogênio que resulta na redução dos teores de outros nutrientes, este desequilíbrio nutricional, associado ao excesso de desenvolvimento vegetativo, explica a redução de produtividade com a aplicação de doses muito elevadas (MAPA, 2003).

Relação entre produtividade do algodão e doses de N

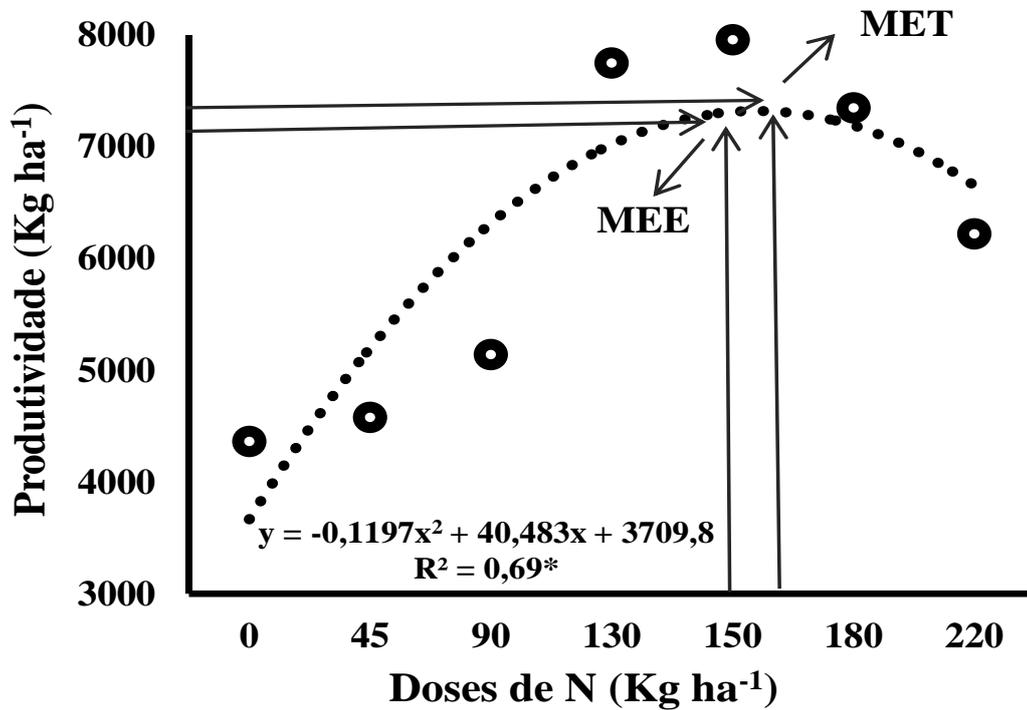


Figura 5. Produtividade da cultura do algodão sobre efeito de diferentes doses de N (kg ha⁻¹). MET (Máxima eficiência técnica); MEE (Máxima eficiência econômica).

1.5. Conclusões

A leitura do índice de vegetação do sensor apresentou alta correlação com as doses de N nos três estágios avaliados, esse resultado justifica a eficiência do sensor no diagnóstico nutricional da cultura do algodão, dessa forma surge a oportunidade de desenvolvimento de curvas de calibração ao Sensor, para prescrever as doses de N adequadas a serem aplicadas no momento exato da leitura.

A amplitude entre valores de leitura do Sensor nos tratamentos é baixa, o que apresenta uma exigência de acurácia maior no desenvolvimento da prescrição de N em tempo real.

A leitura do índice de vegetação dada pelo sensor também apresentou alta correlação com os parâmetros altura de planta, massa seca e N absorvido.

A produtividade da cultura do algodão apresentou um ajuste quadrático com as doses de N, em que o melhor tratamento foi o de 152 kg ha⁻¹ de N.

1.6. Literatura citada

ANAMARI, V. et al. Diagnose nutricional com o uso de sensor óptico ativo em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 11, p. 1159-1165, 2012.

BERNTSEN, J. et al. Algorithms for sensor-based redistribution of nitrogen fertilizer in winter wheat. **Precision Agriculture**, v. 7, p. 65-83, 2006.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v. 25, p. 1791-1800, 1994.

BOQUET, D. J.; MOSER, E. B.; BREITENBECK, G. A. Boll weight and within-plant yield distribution in field-grown cotton given different levels of nitrogen. **Agronomy Journal**, v. 86, p. 20-36, 1994.

CARVALHO, M. C. S.; FERREIRA, G. B.; STAUT, L. A. **Nutrição, calagem e adubação do algodoeiro**. In: FREIRE, E. C. (Org.). Algodão no cerrado do Brasil. Brasília, DF: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão, 2007. p. 581-647.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Embrapa- CNPS, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. 2006. 400p

EPIPHANIO, J. C. N. et al. Índices de vegetação na cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 445-454, 1996.

FRASSON, F. R. **Utilização de sensor óptico ativo em cana-de-açúcar**. 76f. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2007.

FRYE, I. A. A.; KAIRUZ, I. A. G. **Manejo de suelos y uso de fertilizantes**. In: Federación Nacional de Algodoneros. Bases técnicas para el cultivo del algodón em Colombia. Bogotá: Guadalupe, 1990. p. 113-202.

GRAEFF, S.; CLAUPEIN, W. Quantifying nitrogen status of corn (*Zea mays* L.) in the field by reflectance measurements. **European Journal of Agronomy**, v. 19, p. 611-618, 2003.

JASPER, J.; REUSCH, S.; LINK, A. **Active sensing of the N status of wheat using optimized wavelength combination—impact of seed rate, variety and growth stage**. In: VAN HENTEN, E. J.; GOENSE, D.; LOKHORST, C., eds. Precision agriculture 2009. Proceedings of the 7th European conference on precision agriculture. 7., Wageningen, The Netherlands, 2009. Proceedings. Wageningen: Academic Publishers, 2009. p. 23-30.

JØRGENSEN, J. R.; JØRGENSEN, R. N. **Impact on grain quality parameters when nitrogen is 'sensor applied' by the 'Hydro Precise System'**. "Precise system". In GRENIER, G.S.; BLACKMORE, S., ed. Proceedings of the 3th European Conference on Precision Agriculture. 3., Montpellier, 2001. Proceedings. Montpellier, France, 2001. p. 929–934.

Köppen, W. P. **Grundriss der Klimakunde**. 388p. Walter de Gruyter, Berlin, Germany. 1931.

LINK, A.; JASPER, J.; REUSCH, S. **Suitability of different crop parameters for the determination of site-specific nitrogen fertilizer demand**. p.297-302. In: Stafford, J. V. (ed.), Precision Agriculture '05. Proceedings of the 5th European Conference on Precision Agriculture. June 9-12, Uppsala, Sweden. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. 2005.

MALAVOLTA, E. et al. Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 35, p. 1007-1019, 2004.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento. **Calagem e Adubação do Algodoeiro no Cerrado**. Campina Grande, PB, 2003 (Circular Técnico, 92).

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento. **Manejo da adubação Nitrogenada do algodoeiro no Sistema plantio direto com Integração lavoura-pecuária, no Cerrado de goiás**. Campina Grande, PB, 2006 (Circular Técnico, 199).

MAYFIELD, A. H.; TRENGOVE, S. P. Grain and protein responses in wheat using the N-Sensor for variable rate application. **Crop Past Science**, v. 60, p. 818-823, 2009.

MINOLTA, C. **Manual for chlorophyll meter SPAD 502**. Osaka: Minolta, Radiometric Instruments Divisions, 1989. 22 p.

MISTELE, B.; GUTSER, R.; SCHMIDHALTER, U. Validation of field-scaled spectral measurements of the nitrogen status in winter wheat. In: **Proceedings of the 7th International Conference on Precision Agriculture**. July 25-28, Minneapolis, MN, USA. 2004.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. D. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 137-145, 2009.

OLIVEIRA, F. C. et al. Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 529-538, 2002.

PORTZ, G. **Obtenção de algoritmo agronomico para sensor foto ativo de reflectância vegetal visando a aplicação da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar.** (dissertação de mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 2011.

PORTZ, G.; MOLIN, J. P.; JASPER, J. Active crop sensor to detect variability of nitrogen supply and biomass on sugarcane fields. **Precision Agriculture**, v. 13, p. 33-44, 2012.

POVH, F. P. et al. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 1075-1083, 2008.

POVH, F. P. **gestão da adubação nitrogenada em milho utilizando sensoriamento remoto.** Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2011. 107p. (Tese de Doutorado).

RAMBO, L. et al. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, v. 34, p. 1279-1287, 2004.

RAUN, W. R. et al. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. **Communication in Soil Science Plant and Analysis**, v. 36, p. 2759-2781, 2005.

REIS, A. R. et al. **Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila.** *Bragantia*, v. 65, p. 163-171, 2006.

REUSCH, S. Optimisation of oblique-view remote measurement of crop Nuptake under changing irradiance conditions. p. 573-578. In: Stafford, J.; Werner, E. (Eds.), Precision Agriculture. **Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture.** June 15-19, Berlin, Germany. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. 2003.

ROSSATO, O. B. **Metodologias de avaliação e aplicação de nutrientes nas culturas de cana-de-açúcar e algodão.** (dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 112p, 2011.

SAS INSTITUTE. SAS/SAT: **user's guide**: version 9.2. Cary, 2009. 1848 p.

SCHMIDHALTER, U. et al. Field-scale validation of a tractor based multispectral crop scanner to determine biomass and nitrogen uptake of winter wheat. p. 615- 619. In: Stafford, J.; Werner, E. (eds.), Precision Agriculture. **Proceedings of the 4th European Conference on Precision Agriculture.** June 15-19, Berlin, Germany. Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands. 2003.

SCHRÖDER, J. J. et al. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, v. 66, p. 151-164, 2000.

SINGH, I. Crop sensors for efficient nitrogen management in sugarcane: **Potencial and constrains. Sugar Technology**, v. 8, n. 4, p. 299-302, 2006.

SOLIE, J. B. et al. Real-time sensing and N fertilization with a field scale GreenSeeker applicator. In: International conference on precision agriculture, 7., 2002, Minneapolis. Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: USDA, 2002.

STAUT, L. A.; KURIHARA, C. H. **Calagem e adubação**. In: EMBRAPA. Algodão: tecnologia de produção. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. 19 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 720p.

TEDESCO, M. J. et al. **Analysis of soil, plants and other materials**, 2ed, UFRGS, Porto Alegre, RS, BR. pp. 150. 1995.

TUCKER, C. J. et al. Remote sensing of total dry-matter accumulation in winter wheat. **Remote Sensing of Environment**, v. 11, p. 171-189, 1981.

TUMBO, S. D.; WAGNER, D. G.; HEINEMANN, P. H. Hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels. Transactions of the ASAE, v. 45, n. 3, p. 815-823, 2002.

ZILLMAN, E. et al. Assessment of cereal nitrogen requirements derived by optical on-the-go sensors on heterogeneous soils. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 682-690, 2006.

ARTIGO 2 – USO DE SENSOR NA AVALIAÇÃO DA CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM LATOSSOLO E SUA RELAÇÃO COM OS ATRIBUTOS QUÍMICOS E FÍSICOS DO SOLO

2.1. Resumo

A variabilidade espacial do solo é elevada e dependente de uma série de fatores que atuam conjuntamente. A medida de condutividade elétrica é um produto de fatores tanto estáticos como dinâmicos que incluem a salinidade do solo, teor de argila, umidade e atributos químicos. Nesse contexto, o presente trabalho teve o objetivo de determinar a condutividade elétrica de duas áreas de classificação Latossolo através do uso de um sensor “on the go” e relacionar esse índice com os demais parâmetros químicos do solo e com a produtividade da cultura do milho. O experimento foi conduzido em dois Latossolos manejados sob plantio direto consolidado. A condutividade elétrica foi avaliada em duas áreas com uso do sensor Veris® 3100, para as profundidades de 0-30 cm e 0-90 cm. As avaliações foram realizadas no ano agrícola de 2012/13 e a cultura instalada, em ambas as áreas, foi a do milho. As amostras de solo foram coletadas à partir de uma malha amostral de 2ha, totalizando 23 amostras de solo. Os parâmetros químicos do solo e a condutividade elétrica foram comparados pelo método de regressão múltipla do tipo ‘stepwise’. A variação da CE e da produtividade do milho foi determinada por regressão. A CE da Área 1 para a camada de 0-30 cm foi explicada pelos fatores V% e Mg e para a camada de 0-90 cm pelo fator SB. Para a Área II a CE na camada de 0-30 cm foi explicada pela argila, CTCpH7,0 e SB e para a camada de 0-90 cm pelo teor de argila. O aumento da produtividade da Área 1 apresentou ajuste quadrático com o aumento da CE em ambas as profundidades avaliadas, enquanto que na Área 2 o aumento da produtividade se correlacionou linearmente com o aumento da CE em ambas as profundidades.

Palavras-chave: Sensor óptico. algodão. milho. N Sensor. Veris. Argila. Soma de bases.

2.2. Introdução

Geralmente, a variabilidade espacial dos atributos químicos do solo é intrínseca a cada local e condições de solo e clima (ROSSATO, 2011). Reconhecer a variabilidade química e as relações existentes com a produtividade permite a implantação do manejo em sitio específico ou a taxa variada (COELHO, 2003), resultando em ganhos no manejo dos insumos, na redução dos custos de produção e diminuição dos impactos ambientais (BISCARO; GARZELLA, 2006).

A variabilidade espacial em culturas é o resultado de uma complexa interação de fatores, tais como, biológico, edáfico (salinidade, matéria orgânica, nutrientes, etc.), antrópico (atividades humanas, compactação do solo devido a máquinas agrícolas), topografia (relevo, elevação) e climático (umidade relativa, temperatura, etc.) (RABELLO, 2009). No entanto, os métodos disponíveis para a determinação dos atributos referentes a variabilidade espacial, em geral, são caros e demandam grande quantidade de tempo e mão-de-obra. Nesse contexto, tem crescido o interesse por métodos que permitam determinar a variabilidade espacial de atributos do solo de maneira rápida e barata, de forma a proporcionar a obtenção de um grande número de medidas por unidade de área, como a condutividade elétrica do solo (CE) (MACHADO et al., 2006).

A estimativa da CE do solo tem sido utilizada como indicador da variabilidade de propriedades edafológicas e da produtividade das culturas (SIRI-PRIETO et al., 2006). A medida de condutividade elétrica é um produto de fatores tanto estáticos como dinâmicos que incluem a salinidade do solo, a mineralogia e argila, umidade, resistividade e temperatura (JOHNSON et al., 2003; MOLIN; RABELLO, 2011). A condutividade elétrica do solo esta ganhando cada vez mais importância para caracterizar as variabilidades de campo com aplicações em agricultura de precisão, por ser de fácil uso e apresentar alta confiabilidade (CORWIN; LESCH, 2003).

Bullock; Bullock (2000) demonstraram a importância das medidas das variações das propriedades físicas e químicas do solo em agricultura de precisão. A medição da condutividade elétrica aparente do solo é uma tecnologia que se tornou uma ferramenta valiosa para identificar as características físico-químicas do solo que influenciam os padrões de rendimento das culturas, possibilitando o estabelecimento

de parâmetros que explicam a variação espacial dessas propriedades no solo (CORWIN et al., 2003; CELINSKI; ZIMBACK, 2010).

Os primeiros estudos de medida de condutividade elétrica aparente começaram no início dos anos 1900, com os trabalhos de Archie (1942), conhecida como a lei empírica de ARCHIE para rocha e solos arenosos saturados.

Utilizando mapas de condutividade elétrica para amostragem de solo, Jhonson et al. (2003) e Corwin et al. (2003) em seus estudos caracterizaram espacialmente a qualidade do solo, de acordo com suas propriedades físico-químicas. Neste trabalho foram amostrados quatro valores georeferenciados de condutividade elétrica com a correspondente amostra de solo e depois correlacionadas com as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo.

Como vantagens comparativas a outros métodos disponíveis para descrever a variabilidade do solo, a CE determinada com uso de equipamento móvel com emissores e receptores de corrente elétrica, associados ao sistema de posicionamento global (GPS) possibilitam a amostragem de forma rápida aliada a um grande número de leituras (MACHADO et al., 2006).

A indução eletromagnética mede a CE em solos podendo ser realizada com contato ou sem contato com o mesmo (MOLIN et al., 2005). O sistema por contato direto penetra no solo, geralmente utilizando como eletrodos de fluxo de corrente elétrica, discos de corte lisos que captam a condutividade elétrica a uma profundidade diretamente proporcional aos espaçamentos entre os eletrodos. Um equipamento que utiliza esse princípio de funcionamento é o Veris® 3100 (Veris Technologies, Salina, KS, EUA) que fornece valores de condutividade elétrica sem nenhuma calibração (MACHADO et al., 2006; MOLIN; RABELLO, 2011). Este equipamento realiza simultaneamente medições nas profundidades de 0-30 e 0-90 cm, armazenando os dados em mS m^{-1} . Pesquisa realizada por Sudduth et al. (2005), comparando a indução eletromagnética por contato ou sem contato com o solo concluiu que ambos os equipamentos fornecem dados similares.

As principais linhas de estudo referentes aos fatores que influenciam na CE estão concentradas em propriedades como salinidade, teor de água, textura e algumas propriedades químicas de interesse agrícola, como a CTC (VALENTE et al., 2012). Isso é decorrente de uma boa correlação existente na distribuição destes fatores no solo com o mapeamento da condutividade elétrica (RHOADES, 1993; MOLIN et al., 2005; MACHADO et al., 2006; MOLIN; CASTRO, 2008; VALENTE

et al., 2012). Em um estudo em escala que contemplou vários estados do meio-oeste americano, SUDDUTH et al. (2005) avaliaram as relações entre a CE medida por indução e por contato, e suas relações com fatores do solo, observando boas correlações entre as duas formas de medição e da CE com textura e CTC dos solos.

Nesse contexto o presente trabalho teve como objetivo determinar a condutividade elétrica de dois Latossolos pelo uso de um sensor e relacionar esse índice com os demais parâmetros químicos do solo e com a produtividade da cultura do milho

2.3. Material e métodos

2.3.1. Caracterização das áreas experimentais

Os experimentos foram conduzidos no município de Carazinho, RS, Brasil (coordenadas 52°43'30"W, 28°19'1.5"S; cerca de 560 m de altitude), em duas áreas comerciais da Fazenda Estância Nova. As áreas vêm sendo manejadas por mais de 20 anos no Sistema de Plantio Direto com a rotação das culturas de trigo e aveia preta no inverno e soja e milho na verão. O clima do local é subtropical úmido, tipo Cfa (segundo classificação de Köppen).

Em ambas as áreas estudadas o solo analisado foi um Latossolo Vermelho (Typic Hapludox) com textura argilosa (Embrapa, 2006). A caracterização química e física foi realizada anteriormente a implantação do experimento (Tabela 1), as metodologias usadas para avaliação desses parâmetros estão descritas em Tedesco et al. (1995).

Tabela 1. Média dos atributos químicos avaliados antes da implantação dos experimentos.

Prof.	pH _{H2O}	Al ⁽¹⁾	Ca ⁽²⁾	Mg ⁽³⁾	K ⁽⁴⁾	CTC _{pH 7,0}	P	V% ⁽⁵⁾	m% ⁽⁶⁾	Argila	MOS ⁽⁷⁾
cm		*****cmo _c dm ⁻³ *****				mg dm ⁻³		***** %*****		*****g Kg ⁻¹ *****	
Área 1											
0-15	5,2	0,38	5,7	2,2	0,27	13,5	10,2	58,1	9,6	569,0	33,6
Área 2											
0-15	5,6	0,01	4,5	1,7	0,30	10,8	22,9	60,2	1,8	345,5	25,5

⁽¹⁾Alumínio. ⁽²⁾ Cálcio⁻³. ⁽³⁾Magnésio. ⁽⁴⁾Potássio. ⁽⁵⁾Saturação por Bases. ⁽⁶⁾Saturação por alumínio.

⁽⁷⁾Matéria orgânica do solo.

2.3.2. Descrição das Áreas experimentais e avaliações realizadas

Para melhor diferenciação, os experimentos foram nomeados como Área 1 e Área 2, a descrição do manejo, delineamento e avaliações realizadas em cada área segue abaixo.

Área 1:

As avaliações foram realizadas durante a safra agrícola de 2012/13 na cultura do milho, a área total desse experimento foi de 42 ha. O mapeamento de condutividade elétrica foi realizado no dia 13 de maio de 2013 com o equipamento VERIS 3100 (Veris Technologies, EUA) o qual realiza uma leitura por segundo. Para este trabalho utilizou-se a largura aproximada de 15 metros entre faixas, resultando em um acumulado de 3200 pontos de leitura, média de 76 pontos ha⁻¹.

As amostras de solo para correlação com CE foram estipuladas à partir de uma malha amostral de 2 há, sendo coletadas na profundidade de 0-15 cm. Ao total foram 23 amostras de solo compostas de 8 subamostras distantes 5 metros ao entorno do ponto central. As amostragens foram realizadas com trado calador utilizando de um GPS Garmin como localizador dos pontos amostrais.

Nesse experimento também foi avaliado o índice de vigor (IV) da cultura do milho. Esse índice é fornecido pelo Sensor óptico N-Sensor ALS, as leituras foram

realizadas durante a 2ª aplicação de N em cobertura no milho quando a cultura se encontrava no estágio V7(7 folhas completamente expandidas). Para a aplicação foi utilizado o distribuidor Hércules 3.8[®] (Stara S/A) com faixa de aplicação de 27 metros. O N-Sensor[®] ALS realiza o armazenamento de uma leitura por segundo.

Para a obtenção do mapa de produtividade do milho, foi utilizado o Sensor de produtividade (Stara S/A) associado ao receptor GPS Novatel[®] com sinal diferencial Omnistar[®]. Todo o sistema de monitoramento foi instalado sobre uma colheitadeira New Holland TC59 que realizou a leitura de 170 pontos por ha. A data de colheita da cultura foi 17 de fevereiro de 2013.

Área 2:

As avaliações nesse experimento também foram realizadas na safra agrícola de 2012/13 para a cultura do milho em uma área de 39 ha. Todas as leituras foram efetuadas no mês de maio de 2013.

Após o mapeamento da CE os dados foram processados, criando-se classes por desvio-padrão obtendo assim zonas com diferentes valores de condutividade elétrica. A partir da formação de zonas homogêneas de CE foi gerado pontos de amostragem de solo. A obtenção dos dados de CE foi realizada com o equipamento VERIS 3100 como descrito na Área 1. A avaliação da CE foi realizada no mês de maio de 2013.

A amostragem de solo foi realizada na profundidade de 0-15 cm com uso de trado calador formando uma amostra composta a partir de 8 subamostras. Foram estipulados três pontos amostrais por zona de condutividade elétrica.

O mapa de altimetria para correlação com CE foi oriundo de uma operação de pulverização, estando o Pulverizador munido com o sistema de GPS Novatel[®] e sinal diferencial Omnistar[®]. Os dados de altitude foram usados apenas como referencial altimétrico, uma vez que se trata de uma informação de acurácia limitada. No entanto os dados serviram de base para representar a correlação do relevo e a condutividade elétrica.

2.3.3. Análise estatística

A análise de regressão múltipla pelo método “stepwise” foi realizada pelo procedimento PROC REG do programa SAS (2009) para verificar as associações e interdependências entre a condutividade elétrica e o grupo de variáveis relacionadas a parâmetros químicos do solo. O grau de significância para o F foi de 15% de probabilidade para a inclusão das variáveis no modelo. A relação entre a CE nas diferentes profundidades e a produtividade do milho foi comparada por regressão.

2.4. Resultados e discussão

Os parâmetros químicos pH, saturação por bases (V%) e saturação por alumínio referentes a Área 1 anteriormente a implantação do experimento (Tabela 1), situavam-se abaixo dos limites críticos para (pH<5,5; V%=65% e m%>10%) estabelecidos pela CQFS-RS/SC, (2004) havendo a necessidade de aplicação de corretivo na área experimental. O teor de P (Tabela 1) encontra-se classificado como alto de acordo com a CQFS-RS/SC, (2004), a mesma classificação é dada aos teores de K, dessa forma, esses nutrientes não caracterizam um limitante ao desenvolvimento das culturas.

Em relação a Área 2, os valores de pH, V% e m% (Tabela 1), não caracterizaram a necessidade de calagem. Entretanto Caires (2012) em estudos realizados sob Latossolos no Estado do Paraná sugeriu que o método da elevação da saturação por bases para 70%, em amostra de solo coletada na profundidade de 0–20 cm, apresenta estimativa adequada para a recomendação de calcário na superfície em SPD para áreas destinadas a altas produtividades. Da mesma maneira que a Área 1, os teores de P e K da Área 2 foram classificados como altos, ou seja, acima dos limites críticos para as culturas agrícolas sem necessidade de uma adubação para correção.

2.4.1. Relação entre atributos do solo e a condutividade elétrica

A variação da CE está relacionada, principalmente, aos atributos químicos e físicos do solo. Além disso, a CE também possui correlação com a variação de declividade (Figura 1), isso ocorre porque variações altimétricas afetam componentes estáticos (ex. teor de argila) e dinâmicos (ex. umidade do solo e salinidade) (JOHNSON et al. 2001) inferindo em variações da CE ao longo da área. Como visto na Figura 1, são identificadas zonas com CE equivalentes a pontos de maior ou menor altitude, um exemplo disso são os menores valores de CE localizadas nas áreas mais elevadas, devido, provavelmente, ao menor conteúdo de água desses locais.

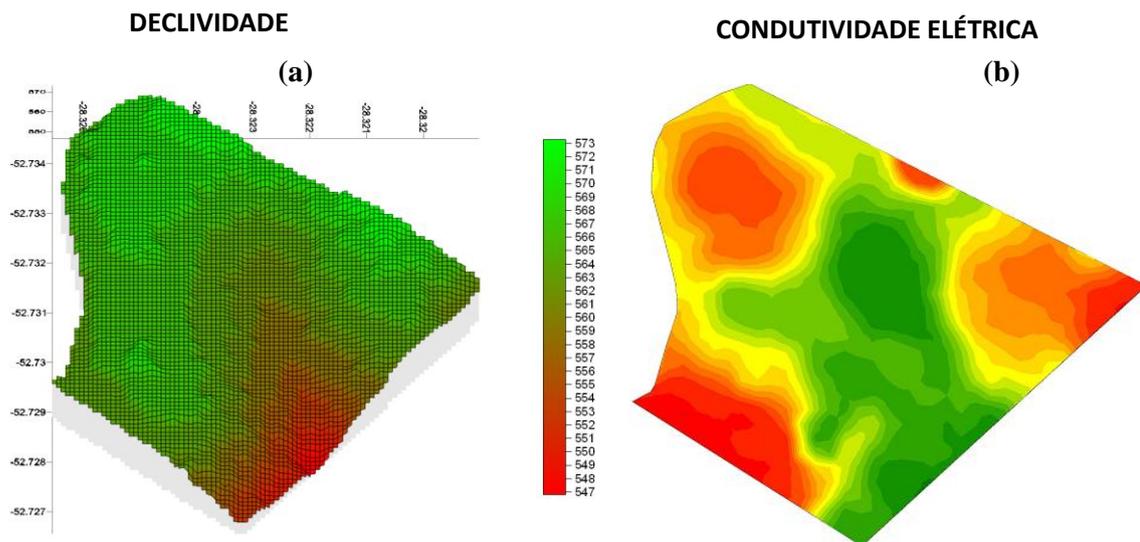


Figura 1. Mapas em 3D da área experimental demonstrando a variação de declividade (a) e a variação na condutividade elétrica (b) para a Área 2.

Diversas propriedades químicas e físicas de interesse agrícola influenciam na CE. Dentre as principais estão a salinidade, teor de água, textura, CTC, pH e soma de bases (VALENTE et al., 2012). Essa dependência da CE a diversos fatores do solo faz com que esse parâmetro dificilmente apresente alta correlação com um componente, individualmente, num determinado ponto (JOHNSON et al., 2001).

Para identificar os principais fatores correlacionados a CE foi realizada a análise de regressão múltipla do tipo “stepwise” para isolar os componentes principais que explicam a variação da CE de ambos os experimentos.

Tabela 2. Coeficientes de regressão múltipla pelo método “stepwise” entre os atributos químicos do solo e a Condutividade Elétrica das camadas de 0-30 e 0-90 cm para as Áreas 1 e 2.

Prof. da CE	Intercepto (a)	pH (b1)	Al (b2)	H+Al (b3)	Ca (b4)	Mg (b5)	K (b6)	CTC _{Efetiva} (b7)	CTC _{pH7,0} (b8)	SB (b9)	P (b10)	V% ⁽⁶⁾ (b11)	m% (b12)	Argila (b13)	MOS (b14)	Teste F	R ² modelo
					****cmo _c dm ⁻³ *****						mg dm ⁻³	*** % ***		***g Kg ⁻¹ ***			
Área 1																	
CE 0-30 cm	-2,575	-	-	-	-	0,106	-	-	-	-	-	2,113	-	-	-	3,65*	0,83
R² parcial		-	-	-	-	0,04	-	-	-	-	-	0,79	-	-	-		
CE 0-90 cm	-0,973	-	-	-	-	-	-	-	-	0,963	-	-	-	-	-	13,17*	0,78
R² parcial		-	-	-	-	-	-	-	-	0,78	-	-	-	-	-		
Área 2																	
CE 0-30 cm	-5,721	-	-	-	-	-	-	-	0,841	0,755	-	-	-	0,048	-	37,72***	0,98
R² parcial		-	-	-	-	-	-	-	-0,075	0,018	-	-	-	0,89	-		
CE 0-90 cm	-3,949	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,029	-	15,25*	0,64
R² parcial		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,64	-		

Al- Alumínio; H+Al- Áidez potencial; Ca- Cálcio; Mg- Magnésio; K- Potássio; SB- Soma de bases; P- Fósforo; V%- Saturação por Bases; m%- Saturação por Al; MOS- Matéria Orgânica do Solo; R²- Coeficiente de determinação

*Significativo a 5% de probabilidade

***Significativo a 0,1% de probabilidade

$$CE = a + b_1pH + b_2Al + b_3H+Al + b_4Ca + b_5Mg + b_6K + b_7CTC_{Efetiva} + b_8CTC_{pH7,0} + b_9SB + b_{10}P + b_{11}V\% + b_{12}m\% + b_{13}Argila + b_{14}MOS$$

Para a Área 1, a CE na camada de 0-30 cm apresentou coeficientes de regressão positivos significativos com os fatores saturação por bases e teor de magnésio (Tabela 1), modo que esses fatores explicaram 83% da variação da CE ao longo da área experimental. Analisando os fatores V% e Mg isoladamente, foi observado aumento linear e altamente significativo entre esses componentes e a CE da camada de 0-30 cm (Figura 2).

Esses resultados corroboram aos encontrados por Doria Filho (1999) em que o autor observou que os melhores resultados de índices de correlação foram obtidos entre a condutividade elétrica e aos atributos do solo cálcio, magnésio, soma de bases, saturação por bases e o teor de argila.

Resultados similares foram obtidos por Castro; Molin (2004) e Faulin (2005), onde a CTC, Ca e Mg explicaram 36% da variabilidade da CE. Da mesma maneira Officer et al. (2004) encontrou altas correlações entre o aumento do Ca, Mg e soma de bases com o aumento da CE em superfície e subsuperfície.

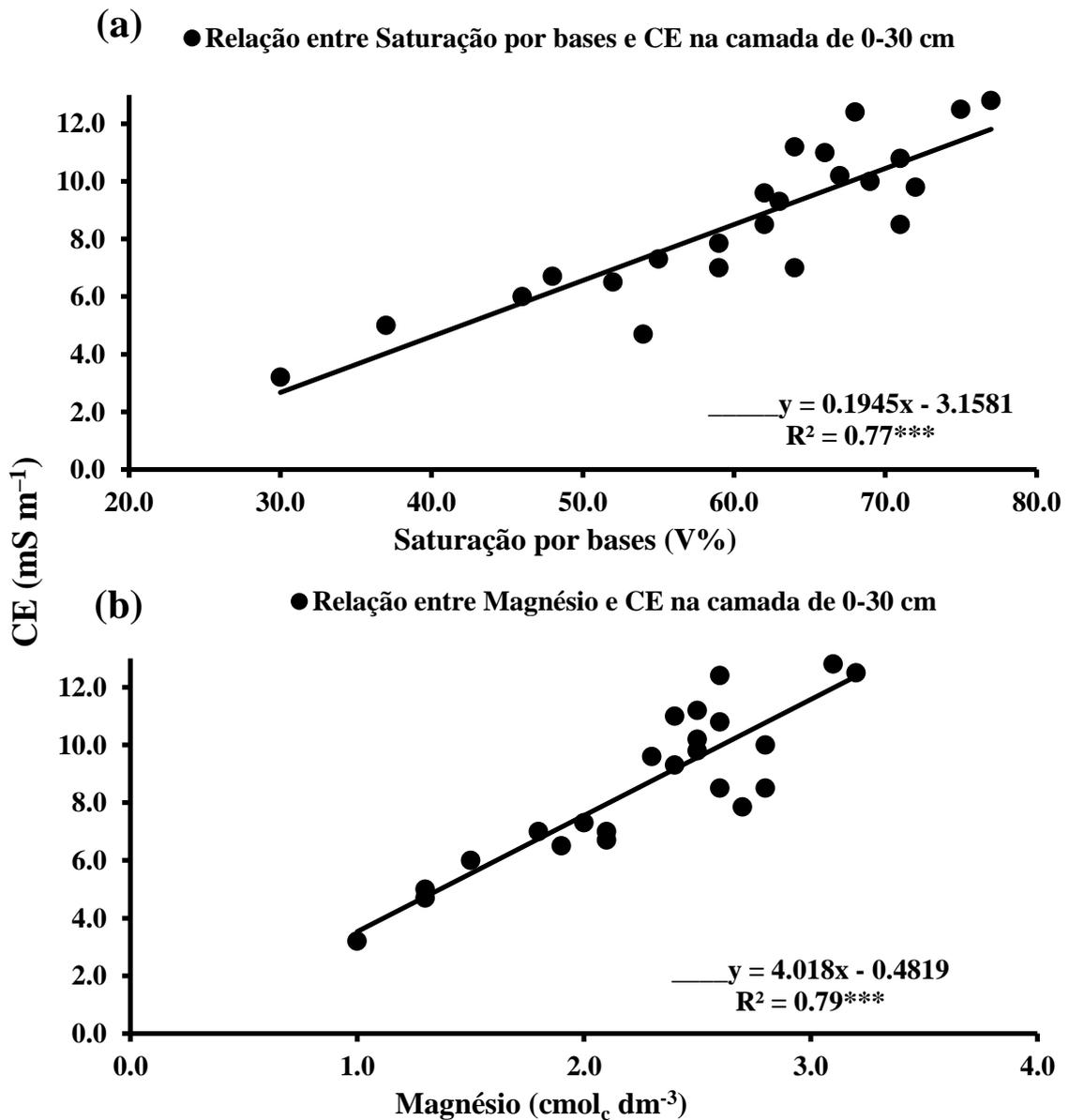


Figura 2. Relação entre a condutividade elétrica (mS m^{-1}) na camada de 0-30 cm com a Saturação por bases (V%) (a) e o teor de magnésio do solo (b) para a Área 1.

Ainda para a Área 1, a CE da camada de 0-90 cm apenas apresentou coeficiente de regressão positivo significativo com o fator soma de bases do solo (Tabela 2), este fator explicou 78% da variação da CE da profundidade de 0-90 cm. Observando os resultados apresentados na Figura 3, nota-se que o aumento da CE ocorre de forma linear com o aumento da soma de bases do solo. Estudos com o uso da condutividade elétrica do solo têm apontado seu potencial para a mensuração da capacidade de troca catiônica e teores de cálcio e magnésio trocáveis (McBRIDE et al., 1990), justificando a relação encontrada nesse trabalho já

que a soma de bases é um índice formado, principalmente, pela soma do Ca, Mg e K, ou seja, alguns dos principais nutrientes absorvidos pela planta. Ressalta-se ainda que a avaliação da CE na profundidade 0-90 cm atinge uma profundidade onde os teores desses nutrientes são baixos havendo uma maior atividade do Al. Assim variações na soma desses cátions são determinantes para o aumento da CE ao longo do perfil do solo.

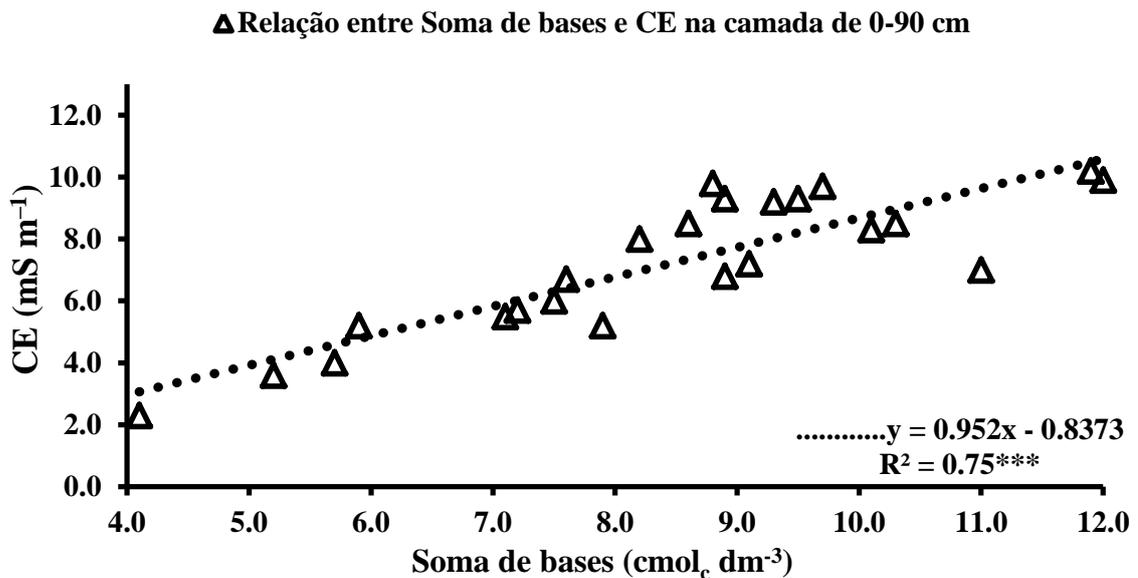


Figura 3. Relação entre a condutividade elétrica (mS m⁻¹) da camada de 0-30 cm com a soma de bases do solo (SB) para a Área 1.

Estudos com a condutividade elétrica do solo têm apontado sua capacidade de estimar o conteúdo de argila (WILLIAMS; HOEY, 1987). Diversos autores (LESCH et al., 2005; MACHADO et al., 2006; MOLIN; CASTRO, 2008) tem observada alta correlação entre a condutividade elétrica do solo e conteúdo de argila. Entretanto no presente trabalho essa variável não foi correlacionada a variação da CE em nenhuma das profundidades avaliadas na área 1 (Figura 4). Esse resultado deve-se a pequena variação existente no teor de argila ao longo da área experimental. De acordo com os resultados apresentados na Figura 4, os teores de argila situaram-se entre 380 e 600 g kg⁻¹, entretanto a maioria dos pontos encontravam-se entre 580 e 600 g kg⁻¹. Essa baixa variação dos teores de argila é tipicamente encontrada em Latossolos. Silveira; Cunha (2002) em um estudo

realizado em Latossolo Vermelho, argiloso, observaram baixo coeficiente de variação no teor de argila (8,0 a 8,6%) da mesma maneira que o estudo em questão.

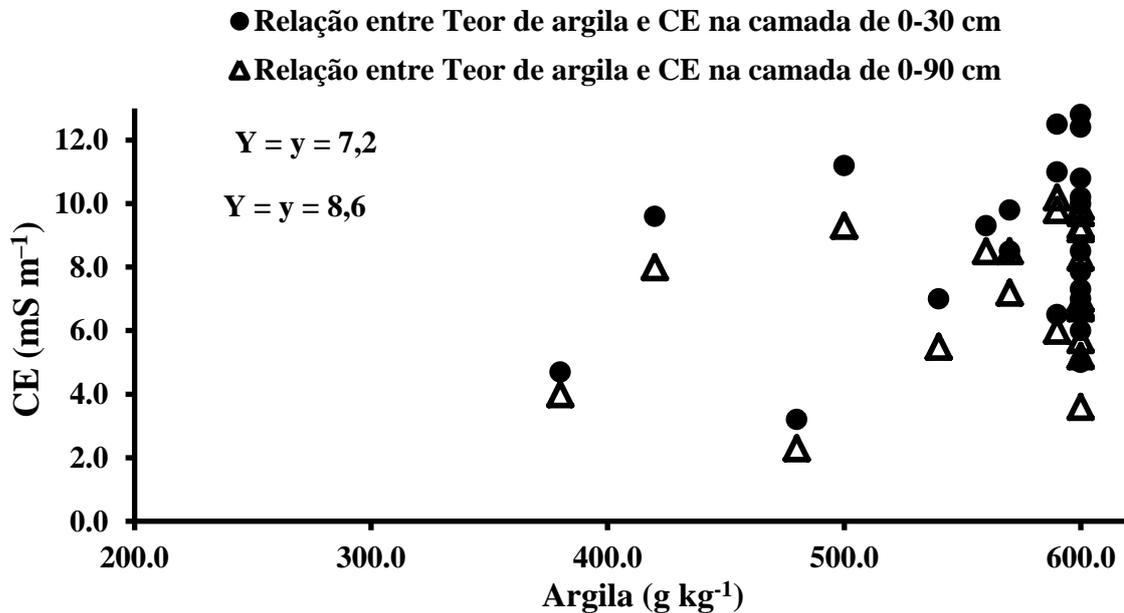


Figura 4. Relação entre a condutividade elétrica (mS m^{-1}) da camada de 0-30 cm e da camada de 0-90 cm com o teor de argila do solo (g kg^{-1}) para a Área 1.

Em relação a Área 2, a CE apresentou coeficientes de regressão positivos significativos com os fatores teor de argila e soma de bases e também um coeficiente significativo com a CTC_{pH7,0} (Tabela 2). Esses fatores, em conjunto, explicaram 98% da variação da CE da área experimental. A elevada percentagem de explicação da variação da CE deve-se principalmente a variação da argila que, sozinha, apresentou 89% da explicação dada pelo modelo. Como observado na Figura 5a, o aumento dos teores de argila inferem no aumento linear da CE da camada de 0-30 cm. Johnson et al. (2001), em um estudo similar, porém realizado em Chernossolos Argilúvicos do Estado do Colorado, EUA, com teor de argila de 122 a 388 g kg^{-1} , verificaram correlação linear altamente significativa (a 0,1% de probabilidade), entre os valores de argila e a CE medida pelo VERIS.

Esse resultado corrobora a demais estudos que apontam o elevado potencial da CE para a mensuração de conteúdo de argila (WILLIAMS; HOEY, 1987; LESCH et al., 2005; MACHADO et al., 2006; MOLIN; CASTRO, 2008). Dalgaard et al.

(2001), obtiveram resultados em que o teor de argila do solo explicava 79% da variabilidade da CE.

Da mesma maneira que na Área 1, a soma de bases da Área 2 explicou, em parte, o aumento da CE do solo, efeito esse dado pela relação linear entre as variáveis (Figura 5c), corroborando os resultados encontrados por Doria Filho (1999) em que o autor observou ótimos índices de correlação entre a condutividade elétrica e aos atributos do solo cálcio e magnésio, cátions dos quais são componentes da soma de bases do solo. Como a CTCpH7,0 do solo pode ser composta, principalmente, pela acidez potencial, este componente apresentou coeficiente de regressão negativo com a CE do solo, fato este justificado pelo ajuste quadrático entre as variáveis (Figura 5b). Dessa forma, valores elevados de CTCpH7,0 podem ser originados pela maior acidez do ponto em questão reduzindo a CE daquele local.

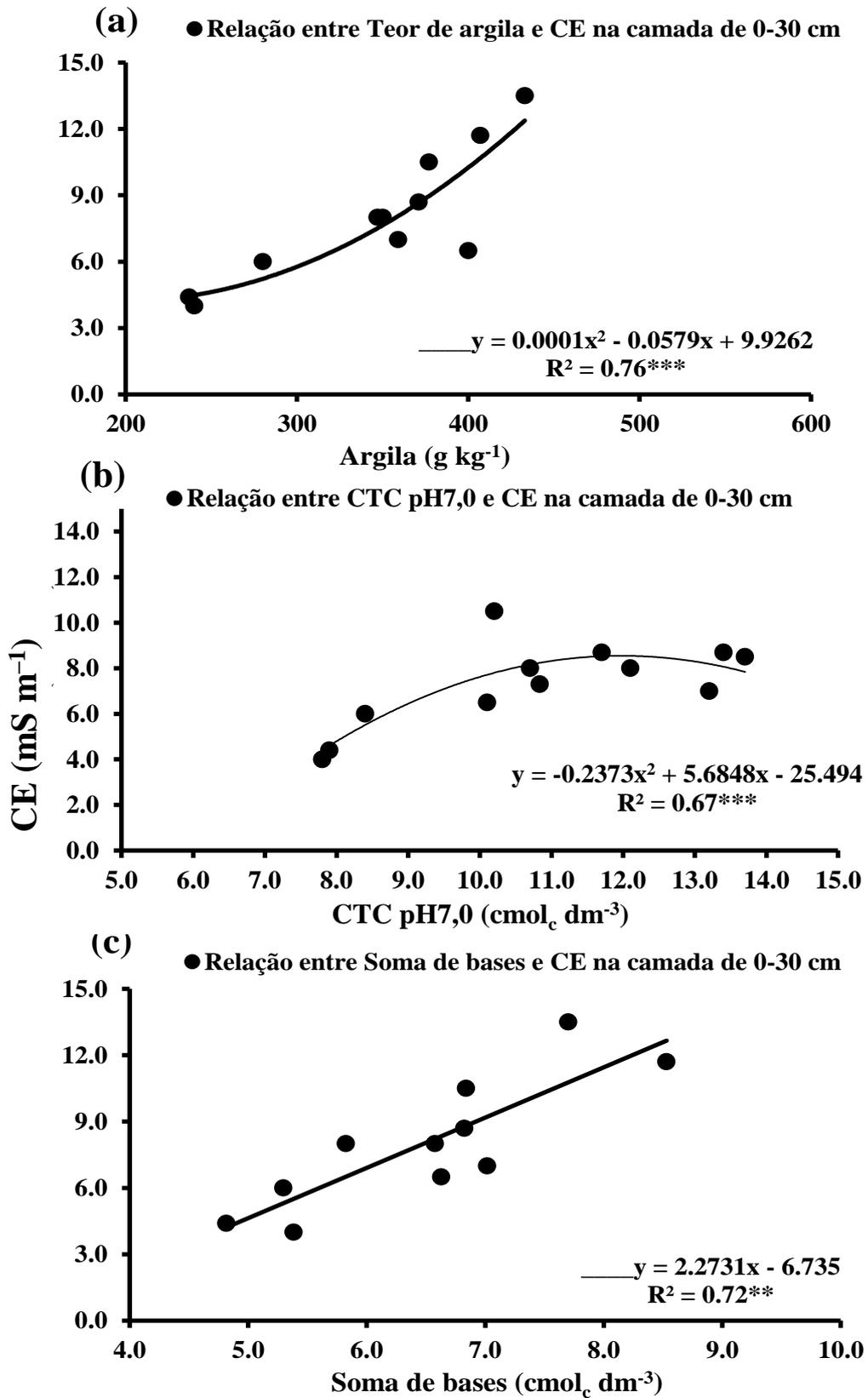


Figura 5. Relação entre a condutividade elétrica (mS m^{-1}) da camada de 0-30 cm com o teor de argila (a), CTC pH7,0 (b) e soma de bases (c) para a Área 2.

A CE da área 2, na camada de 0-90 cm, apresentou coeficiente de regressão positivo significativo com o teor de argila do solo, em que esse componente explicou 64% da variação da CE do solo (Tabela 2). O aumento do teor de argila inferiu no aumento linear da CE do solo (Figura 6), efeito o qual foi observado para ambas as profundidades da Área 2. Esse resultado é decorrente da maior variação nos teores de argila ao longo da área experimental, diferentemente da pequena variação observada na Área 1 que não apresentou efeito nos valores de CE (Figura 4).

O resultado observado na Área 2 é decorrente de que solos com teores mais elevados de argila conduzem mais eletricidade do que aqueles de textura mais arenosa (MACHADO et al., 2006). Segundo Kachanoski et al. (1988), os íons presentes na dupla camada difusa de partículas de argila possuem a capacidade de conduzir eletricidade, mesmo em condições de baixos teores de água no solo, ao passo que a areia praticamente não apresenta esta característica. Dessa forma, resultados de CE em solos argilosos são, geralmente, mais altos que em solos mais arenosos.

Em estudo realizado por Machado et al. (2006), os autores observaram que o melhor ajuste entre a CE e o teor de argila é dado por um polinômio de ordem 2 com coeficientes de determinação entre CE e o teor de argila, nas camadas 0–5 e 5–10 cm, de 0,77 e 0,78, respectivamente.

Em geral, o aumento do teor de argila resulta no incremento do teor de carbono orgânico nos solos brasileiros (RAIJ, 1991), e vários trabalhos têm demonstrado que a elevação do teor de carbono orgânico gera aumento na CE nesses solos (OLIVEIRA et al., 2002). Nota-se, em ambos os experimentos, que os valores de CE foram maiores na camada de 0-30 cm comparativamente a de 0-90 cm (Figura 4, 5a e 6), o que pode ser explicado pela maior concentração de nutrientes e matéria orgânica na camada mais superficial do solo. Cabe ressaltar que os valores de CE desse estudo são considerados altos de acordo com Machado et al. (2006). Isso se deve a elevada CTC dos solos em questão, índice o qual é determinado pelo tipo de argila e o conteúdo de MO do solo.

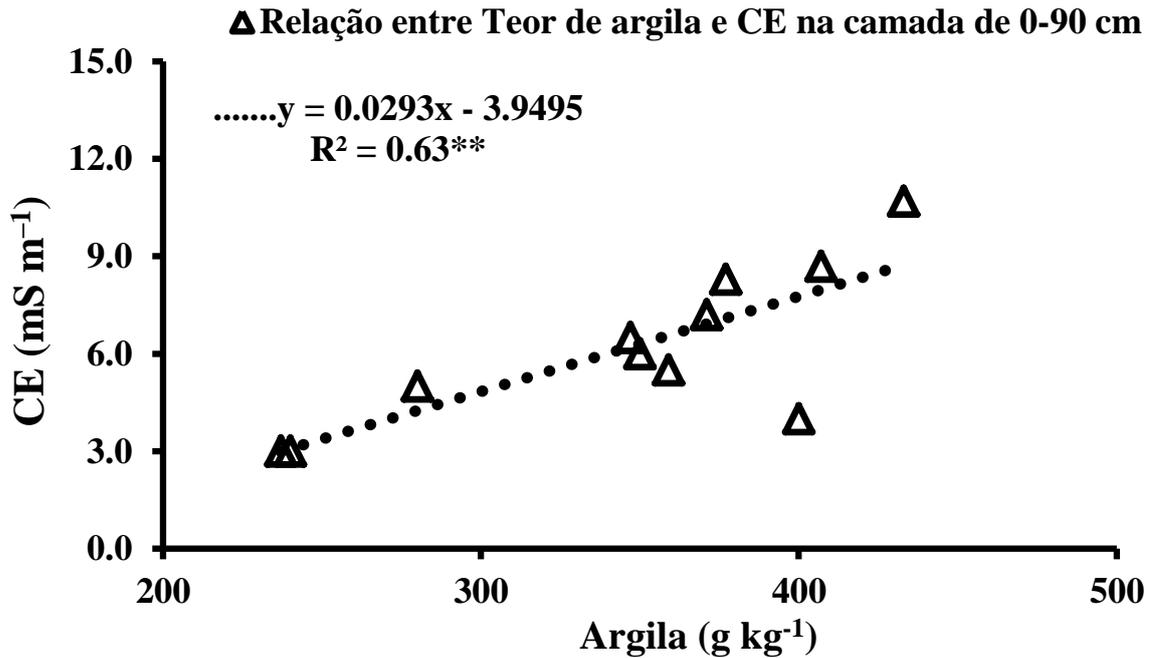


Figura 6. Relação entre a condutividade elétrica (mS m^{-1}) da camada de 0-90 cm com o teor de argila para a Área 2.

2.4.2. Relação entre Condutividade Elétrica e a Produtividade da cultura do Milho

Para a Área 1, foi verificada relação significativa entre o aumento da produtividade de milho com o aumento da CE em ambas as camadas avaliadas pelo sensor (Figura 7a). As equações ajustadas, para ambas as profundidades de leitura da CE, seguiram modelos quadráticos. Entretanto, a relação da produtividade com a CE da camada de 0-90cm apresentou o maior coeficiente de determinação ($R^2=0,68$). De acordo com o ajuste da equação da CE dessa profundidade, a máxima produtividade de milho foi de $11056,4 \text{ kg ha}^{-1}$ sendo atingida quando a CE foi igual a $9,6 \text{ mS m}^{-1}$.

Em relação a área 2, a produtividade do milho aumentou linearmente em relação ao aumento da CE (Figura 7b) nas duas camadas de solo avaliadas. Da mesma maneira que a Área 1, a CE da a camada de 0-90 cm apresentou maior coeficiente de determinação ($R^2=0,81$) com a produtividade do milho. De acordo com a equação ajustada nessa camada a maior produtividade do milho foi igual a $13000,5 \text{ kg ha}^{-1}$ quando a CE foi de $10,7 \text{ mS m}^{-1}$. Os resultados corroboram aos

encontrados por Franchini et al. (2012), que demonstraram um melhor ajuste e melhor correlação quando comparadas a produtividade da soja com a CE medida na camada de 0-90 cm. Esse fato é justificado pelo maior aprofundamento do sistema radicular da cultura do milho (REEVE; SUMNER, 1980) que, ao encontrar um ambiente subsuperficial mais adequado, tem um melhor desenvolvimento e conseqüentemente, melhor aproveitamento da água (CAIRES et al., 2012). A capacidade de armazenamento de água e do seu fornecimento para as plantas exerce grande influencia sobre a variação da produtividade em uma lavoura (MORGAN et al., 2000).

Como discutido anteriormente, o aumento da CE ocorreu devido ao aumento da argila e das bases trocáveis, justificando que as camadas com maior CE apresentam suas cargas mais saturadas por bases. Essa maior relação entre aumento da produtividade do solo e aumento das bases trocáveis de camadas mais profundas do solo foi observada por Dalla Nora; Amado (2013), em que os autores verificaram que o aumento de produtividade da soja e do milho se correlacionou com o aumento da V% na camada de 25-40 cm do solo.

A correlação entre a produtividade das culturas e a CE indica que esse parâmetro pode ser útil na definição de zonas de manejo diferenciadas dentro da lavoura já que a CE apresenta facilidade e rapidez na sua determinação, o que torna possível a obtenção de uma grande quantidade de leituras por unidade de área (CASTRO; MOLIN, 2004).

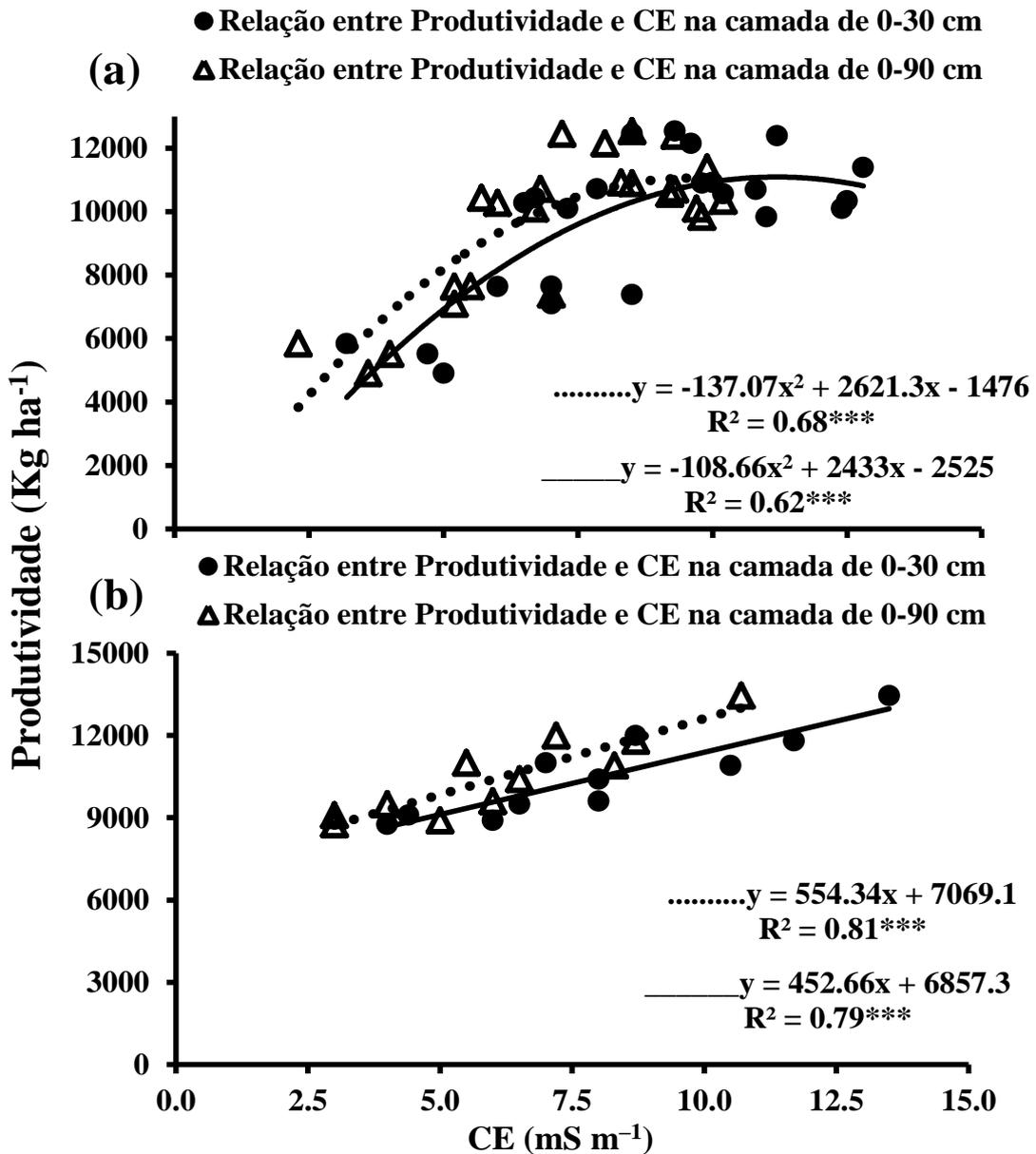


Figura 7. Relação entre a produtividade do milho (Kg ha⁻¹) e a condutividade elétrica (mS m⁻¹) do solo na camada de 0-30 cm e na camada de 0-90 cm para a Área 1 (a) e para a Área 2 (b).

Neste trabalho foi constatado que as leituras efetuadas com o sensor óptico foram positivamente correlacionadas com o aumento da produtividade do milho (Figura 8), sendo observada uma relação linear entre as duas variáveis. Essa eficiência do sensor é dependente da capacidade do mesmo em distinguir as distintas condições nutricionais do milho, determinando assim a necessidade de adubação nitrogenada. Anteriormente, Mayfield; Trengove (2009) na cultura do trigo também reportaram elevada correlação entre as leituras do N-Sensor com a produtividade final da cultura.

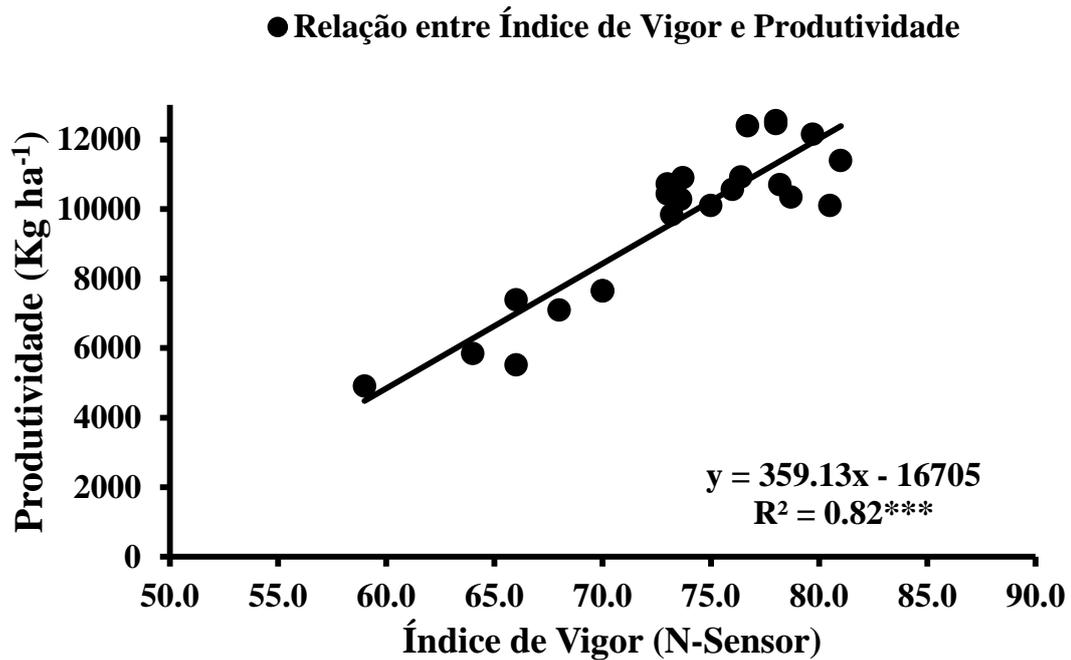


Figura 8. Relação entre índice de vigor determinado pelo N-Sensor e produtividade da cultura do milho na Área 1.

2.5. Conclusões

O mapeamento da CE é adequado para delinear a variabilidade espacial de características do solo. Em um solo com baixa variação espacial dos teores de argila, esse parâmetro não explica a variação da CE, entretanto ela passa a ser explicada pelos cátions trocáveis do solo e sua saturação na CTC, bem como a própria CTC.

Em situação onde a variação espacial dos teores de argila é maior, esse fator se torna a principal explicação da variação da CE do solo.

A variação da condutividade elétrica na camada de 0-30 cm e 0-90cm de profundidade explicam a alteração de produtividade do milho em ambos os experimentos implantados em Latossolos.

2.6. Literatura citada

ARCHIE, G. **The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics** (Transactions of AIME). [S. l.: s. n.], 1942.

BISCARO, A. S.; GARZELLA, T. C. Agricultura de precisão: uma valiosa ferramenta para redução de contaminação ambiental decorrente do uso de fertilizantes minerais nitrogenados. In: Congresso Brasileiro de agricultura de precisão, São Pedro. **Anais...** Piracicaba: ESALQ, 2006. 1 CD-ROM.

BULLOCK, D. S.; BULLOCK, D. G. Economic optimality of input application rates in precision farming. **Precision Agriculture**, v. 2, p. 71-101, 2000.

CAIRES, E. F. Calagem e uso de gesso em Sistema Plantio Direto. **Revista Plantio Direto**, v. 128, p. 1-11, 2012.

CASTRO, C. N.; MOLIN, J. P. Definição de unidades de gerenciamento do solo através da sua condutividade elétrica e variáveis físico-químicas utilizando classificação Fuzzy. In: Congresso brasileiro de agricultura de precisão, 2004, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: USP/ESALQ, 2004.

CELINSKI, V. G.; ZIMBACK, C. R. L. Avaliação de um sensor de capacitância elétrica e sua correlação com Atributos do solo. **Revista Energia na Agricultura**, v. 25, n. 2, p. 157-170, 2010.

COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e das culturas**. In: NOVAIS, R. F. et al. (Orgs.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 249-290. 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.

CORWIN, D. L. et al. Identifying soil properties that influence cotton yield using soil sampling directed by apparent soil electrical conductivity. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 02, p. 352-364, 2003.

CORWIN, D. L.; LESCH, S. M. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles, and guidelines. **Agronomy Journal**, v. 95, n. 3, p. 455-471, 2003.

DALGAARD, M.; HAVE, H.; NEHMDAHL, H. Soil clay mapping by measurement of electromagnetic conductivity. European conference on precision agriculture, 3., 2001, Montpellier. Proceedings... Montpellier: **AgroMontpellier**, 2001. CD-ROM.

DALLA NORA, D.; AMADO, T. J. C. Improvement in Chemical Attributes of Oxisol Subsoil and Crop Yields under No-Till. **Agronomy Journal**, v. 105, p. 1393-1403, 2013.

DORIA FILHO, U. **Introdução a bioestatística: para simples mortais**. São Paulo: Negócio, 1999, 152 p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Embrapa- CNPS, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. 2006.

FAULIN, G. C. **Variabilidade espacial do teor de água e sua influência na condutividade elétrica do solo**. 2005. 52 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; DIAS, W. P. Variabilidade espacial aplicada a pesquisa e ao Desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis. **Congresso Brasileiro de Soja**, Cuiabá, MT, 2012.

JHONSON, C. K. et al. **Status of soil electrical conductivity studies by central state researches**. St. Joseph: ASAE, 2003. Annual International Meeting, Las Vegas, NV. 27-30 July 2003.

JOHNSON, C. K. et al. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p. 1829-1837, 2001.

KACHANOSKI, R. G.; GREGORICH, E. G.; VAN WESENBEECK, I. J. Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 68, p. 715-722, 1988.

LESCH, S. M. et al. Apparent soil electrical conductivity mapping as an agricultural management tool in arid zone soils. **Computer and Electronics in Agriculture**, v. 46, n. 1, p. 351-378, 2005.

MACHADO, P. L. O. A. et al. Mapeamento da condutividade elétrica do solo e relação com os teores de argila de um Latossolo Vermelho sob plantio direto no Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 6, p. 1.023-1.031, 2006.

MAYFIELD, A. H.; TRENGOVE, S. P. Grain and protein responses in wheat using the N-Sensor for variable rate application. **Crop Past Science**, v. 60, p. 818-823, 2009.

McBRIDE, R. A.; GORDON, A. M.; SHRIVE, S. C. Estimating forest soil quality from terrain measurements of apparent electrical conductivity. **Soil Science Society of American Journal**, v. 54, p. 290-3, 1990.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. **Scientia Agricola**, v. 65, p. 567-573, 2008.

MOLIN, J. P. et al. Mensuração da condutividade elétrica do solo por indução e sua correlação com fatores de produção. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 2, p. 420-426, 2005.

MOLIN, J. P.; RABELLO, L. M. Estudos sobre a mensuração da condutividade elétrica do solo. *Engenharia na Agricultura*, v. 31, n. 1, p. 90-101. 2011.

MORGAN, C. L. S. et al. Two approaches to mapping plant available water: em-38 measurements and inverse yield modeling (compact disc). In: International conference on precision agriculture, 5., Bloomington, 2000. **Proceedings**. Bloomington: ASA; CSSA; SSSA, 2000.

OFFICER, S. J. et al. Relationships between soil bulk electrical conductivity and the principal component analysis of topography and soil fertility values. *Plant and Soil*, v. 258, p. 269-280, 2004.

RABELLO, L. M. **Condutividade elétrica do solo, tópicos e equipamentos. Embrapa 2009**. In: Instrumentação Agropecuária São Carlos, SP, 2009 (Boletim Técnico, 43).

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.

REEVE, N. G.; SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil acidity in Natal Oxisols by leaching of surface applied amendments. *Agrochimophisica*, v. 4, p. 1-6, 1972.

RHOADES, J. D. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. *Advances in Agronomy*, v. 49, p. 232-242, 1993.

ROSSATO, O. B. **Metodologias de avaliação e aplicação de nutrientes nas culturas de cana-de-açúcar e algodão**. (dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 112p, 2011.

SIRI-PRIETO, G. et al. The world's oldest cotton experiment: relationships between soil chemical and physical properties and apparent electrical conductivity. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 37, p. 1-20, 2006.

SUDDUTH, K. A. et al. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central USA. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 46, p. 263-283, 2005.

TEDESCO, M. J. et al. *Analysis of soil, plants and other materials*, 2. ed, UFRGS, Porto Alegre, RS, BR. 1995. pp. 150.

VALENTE, D. S. M. et al. Relação entre condutividade elétrica aparente e propriedades do solo *Revista Ciência Agrônômica*, v. 43, n. 4, p. 683-690, 2012.

WILLIAMS, B. G.; HOEY, D. The use of eletromagnetic induction to detect the spatial variability of the salt and clay contentes of soils. **Australian Journal of soil Research**, v. 25, n. 1, p. 21-27. 1987.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de sensores na agricultura surge como uma alternativa para melhorar o monitoramento e reconhecimento da heterogeneidade das áreas agrícolas. A obtenção de um grande número de leituras em tempo real aumenta a eficiência do uso de insumos, reduzindo assim possíveis danos ambientais e prejuízos pelo uso incorreto de fertilizantes. O uso do sensor na avaliação do estado nutricional na cultura do algodão apresentou eficiência no diagnóstico da nutrição nitrogenada para cada local em específico, assume ser uma futura ferramenta na prescrição de doses de N em tempo real para a cultura do Algodão. A aplicação do sensor de solo para determinar o status da condutividade elétrica revelou-se uma ferramenta eficiente para estimar as condições de alguns fatores químicos e físicos no solo determinantes para a nutrição das culturas agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLACKMORE, S. **Precision farming: an overview**. Agricultural Engineering, St. Joseph, p. 86-8, 1994.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: Virginia Polytechnic Institute, 1987. 551 p.

CASSMAN, K. G.; DOBERMANN, A.; WALTERS, D. T. Agroecosystems, nitrogen – use efficiency, and nitrogen management. *AMBIO*, v. 31, n. 2, p. 132-140, 2002.

COLWELL, R. N. Manual of remote sensing. **American Society of Photogrammetry**, v. 2, p. 138-336, 1983.

FRAISSE, C. Agricultura de Precisão: a tecnologia de GIS/GPS chega às fazendas. **Revista Fator GIS**, n. 21, p. 28-33, 1998.

HEERMANN, D. F. et al. Interdisciplinary irrigated precision farming research. **Precision Agriculture**, v. 3, p. 47-61, 2002.

HUETE, A. R. Extension of soil spectra to the satellite: Atmosphere, geometric and sensor considerations. **Photo Interpretation**, v. 34, n. 2, p. 101-114, 1996.

HUTMACHER, R. B. et al. Response of recent Acala cotton cultivars to variable nitrogen rates in the San Joaquin valley of California. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 48- 62, 2004.

JOHNSON, C. K.; ESKRIDGE, K. M.; CORWIN, D. L. Apparent soil electrical conductivity: applications for designing and evaluating field-scale experiments. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 46, p. 181-202, 2005.

KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T. Mapping of sand deposition from 1993 midwest floods with electromagnetic induction measurements. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 51, p. 336-340, 1996.

KLUTHCOUSKI, J. et al. **Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 64 p.

MISTELE, B.; GUTSER, R.; SCHMIDHALTER, U. Validation of field-scaled spectral measurements of the nitrogen status in winter wheat. In: **Proceedings of the 7th International Conference on Precision Agriculture**. July 25-28, Minneapolis, MN, USA. 2004.

MOGES, S. M. et al. Evaluation of green, red, and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake, and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, p. 1431- 1441, 2004.

MOLIN, J. P. **Agricultura de precisão: o gerenciamento da variabilidade**. Piracicaba. 2001. 83p.

MOLIN, J. P.; CASTRO, C. N. Establishing management zones using soil electrical conductivity and other soil properties by the fuzzy clustering technique. *Scientia Agricola*, v. 65, p. 567-573, 2008.

NOVO, E. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1992. 388 p.

PORTZ, G. **Obtenção de algoritmo agronomico para sensor foto ativo de reflectância vegetal visando a aplicação da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar** (dissertação de mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba. 2011.

RHOADES, J. D.; CORWIN, D. L. Measurement of inverted electrical conductivity profiles using electromagnetic induction. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 288-291, 1984.

ROSSATO, O. B. **Metodologias de avaliação e aplicação de nutrientes nas culturas de cana-de-açúcar e algodão** (dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 112p, 2011.

SCHÄCHTL J. et al. Laser-induced chlorophyll fluorescence measurements for detecting the nitrogen status of wheat (*Triticum aestivum* L.) canopies. **Precision Agriculture**, v. 6, p. 143-156, 2005.

STEFFEN, C. A. et al. **Sensoriamento remoto: princípios físicos; sensores e produtos e sistema Landsat**. São José dos Campos: INPE, 1981. 72p.

TARPLEY, L.; REDDY, K. R.; SASSENATH-COLE, G. F. Reflectance indices with precision and accuracy in predicting cotton leaf nitrogen concentration. **Crop Science**, v. 40, p. 1814-1819, 2000.

TISDALE, S. L. et al. **Soil Fertility and Fertilizers**. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, 1993.

TUMBO, S. D.; WAGNER, D. G.; HEINEMANN, P. H. **Hyperspectral characteristics of corn plants under different chlorophyll levels**. Transactions of the ASAE, v. 45, n. 3, p. 815-823, 2002.

WOOD, C. W.; REEVES, D. W.; HIMELRICK, D. G. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a review. **Proceedings Agronomy Society**, v. 23, p. 1-9, 1993.

WRIGHT, D. L. et al. Canopy reflectance estimation of wheat nitrogen content for grain protein management. *GIScience and Remote Sensing*, v. 41, p. 287-300, 2004.