

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE ANÁPOLIS – UniEVANGÉLICA  
CURSO DE AGRONOMIA**

**COMPORTAMENTO ESPECTRAL DO *NDVI* NA CULTURA DO  
MILHO E SUA CORRELAÇÃO COM ADUBAÇÃO DE BASE**

**Herculys Santana Nevis**

**ANÁPOLIS-GO  
2018**

**HERCULYS SANTANA NEVIS**

**COMPORTAMENTO ESPECTRAL DO *NDVI* NA CULTURA DO  
MILHO E SUA CORRELAÇÃO COM ADUBAÇÃO DE BASE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Universitário de Anápolis-UniEvangélica, para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

**Área de concentração:** Sensoriamento Remoto

**Orientador:** Prof. Msc. Gustavo Henrique Mendes Brito

**ANÁPOLIS-GO  
2018**

Nevis, Herculys Santana

Comportamento Espectral do *NDVI* na Cultura do Milho e sua Correlação com Adubação de Base/ Herculys Santana Nevis. – Anápolis: Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, 2018.

24 p.

Orientador: Prof. Msc. Gustavo Henrique Mendes Brito

Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Agronomia – Centro Universitário de Anápolis – UniEvangélica, 2018.

1. Agricultura de Precisão. 2. Sensoriamento Remoto 3. Índice de Vegetação de Herculys Santana Nevis. Comportamento Espectral do *NDVI* na Cultura do Milho e sua Correlação com Adubação de Base.

CDU 504

HERCULYS SANTANA NEVIS

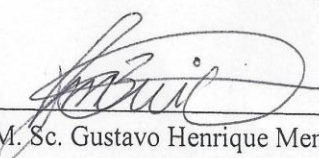
**COMPORTAMENTO ESPECTRAL DO NDVI NA CULTURA DO  
MILHO E SUA CORRELAÇÃO COM ADUBAÇÃO DE BASE**

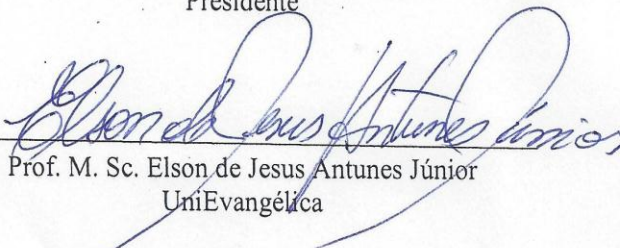
Monografia apresentada ao Centro  
Universitário de Anápolis – UniEvangélica,  
para obtenção do título de Bacharel em  
Agronomia.

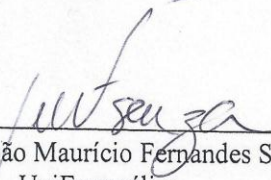
**Área de concentração:** Sensoriamento  
Remoto

Aprovada em: 25/06/2018

Banca examinadora

  
\_\_\_\_\_  
Prof. M. Sc. Gustavo Henrique Mendes Brito  
UniEvangélica  
Presidente

  
\_\_\_\_\_  
Prof. M. Sc. Elson de Jesus Antunes Júnior  
UniEvangélica

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. João Maurício Fernandes Souza  
UniEvangélica

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade à vida que me foi dada. Agradeço aos meus pais, Arizio Neves Adorno e Rosilei America Santana por todo amor, apoio, confiança e companheirismo nesses cinco anos, nos quais crescemos juntos e estamos realizando um grande sonho. Agradeço minha irmã Cerjana Santana Neves pelo carinho e cumplicidade que sempre teve comigo. Agradeço em especial a minha avó Terezinha Neves Adorno por tudo que fez por mim, por sempre cuidar e proteger nossa família. Agradeço meu grande amigo e companheiro Uilian Bueno de Siqueira que sempre estava ao meu lado ajudando durante as dificuldades da vida universitária. Agradeço a minha amada namorada Thais Vitor Xavier pelos momentos de amor e carinho e me acompanhar nessa longa e árdua jornada, apoiando e incentivando sempre. Agradeço aos meus amigos, professores e familiares pelos horas de descontração e companheirismo e por sempre me dar forças para seguir em frente. A todos meu muito obrigado!

“O medo de errar é o principal obstáculo para a inovação que queremos”.

Sir Hob

## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	x
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	5
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	7
2.1. MILHO .....	7
2.2. ADUBAÇÃO DE BASE DO MILHO .....	7
2.2.1 Nitrogênio (N).....	7
2.2.2 Fósforo (P) .....	8
2.2.3 Potássio (K).....	10
2.3.Sensoriamento Remoto.....	11
2.3.1. Índice de Vegetação .....	12
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	14
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	14
3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	14
3.3. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO .....	16
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	18
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	22
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	22

## RESUMO

O milho pode ser considerado uma das principais culturas cultivadas no Brasil, segundo a CONAB na safra 2015/16 o Brasil apresentou área plantada de 15,9 milhões de hectares com 68,4 milhões de toneladas colhidas. É utilizado para o consumo humano e animal, em formas de farinha de milho, fubá, quirera, farelos, óleos, farinha integral, entre outras, e devido a isso se deve dar bastante atenção à essa cultura. Estudos recentes contribuindo com o avanço de novas tecnologias, levam ao entendimento dos padrões espectrais da cultura e servem como base para estudos cada vez mais elaborados. O objetivo desse trabalho foi apresentar uma relação sobre as respostas espectrais do milho e fazer uma análise do índice de vegetação normalizado (NDVI) para a cultura em diferentes adubações de base, utilizando imagens do satélite Landsat 8. Para alcançar o objetivo desse experimento, foi realizado utilizando imagens captadas pelo sensor OLI, a bordo do Landsat 8. O trabalho desenvolvido no Município de Silvânia no estado de Goiás, foi o tratamento de quatro blocos diferentes em termos de dosagem de adubação de base, cada bloco possui 4,2 metros de largura por 180 metros de comprimento e as dosagens são distribuídas entre 450 kg ha<sup>-1</sup> do adubo 05-25-15 (quantidade recomendada), 225 kg ha<sup>-1</sup> que é 50% abaixo da recomendada, 675 kg ha<sup>-1</sup> que é 50% acima, e uma testemunha sem adubação. É possível determinar o comportamento espectral do NDVI do milho durante o seu ciclo fenológico de cada tratamento a partir das análises de imagens de sensoriamento remoto. Com os dados obtidos pode-se afirmar que a melhor dose a ser escolhida é a de 450 Kg ha<sup>-1</sup>, pois ela apresenta diferenças mínimas de altura de planta, diâmetro de colmo, tamanho de espigas e maior atividade clorofilática e fotossintética em relação à dose superior (675 Kg ha<sup>-1</sup>), que por vez não cobrem os gastos com a adubação adicional investida.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão; Sensoriamento Remoto; Índice de Vegetação.



## INTRODUÇÃO

Durante a safra 2015/16 o Brasil apresentou área plantada de 15,9 milhões de hectares com 68,4 milhões de toneladas, representando um aumento de 1,5% em relação à safra anterior, fazendo com que o país figure entre os maiores produtores de milho do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos da América e também da China (ARAUJO, 2016; CONAB, 2016). De acordo com Duarte et al. (2016), mesmo sendo uma cultura não originária do Brasil, o milho é um dos insumos mais produzidos da cadeia agrícola nacional e utilizado para o consumo humano e animal, em formas de farinha de milho, fubá, quirera, farelos, óleos, farinha integral, entre outras.

A detecção das áreas de milho, que é a segunda cultura de maior importância durante a safra verão, faz parte de uma abordagem mais ampla de monitoramento das condições das lavouras agrícolas em nível regional, por meio de técnicas de sensoriamento remoto e dados multitemporais (SHIMABUKURO et al., 2007).

A tecnologia de sensoriamento remoto apresenta um grande potencial para ser utilizado na agricultura, tornando possível obter informações sobre: estimativas de áreas plantadas, produção agrícola, vigor vegetativo das culturas, além de fornecer subsídios para o manejo agrícola em níveis de país, estado, município ou ainda em nível de microbacia hidrográfica ou fazenda (RUDORFF; MOREIRA, 2002).

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio de captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. Os resultados oriundos desta tecnologia decorrem de esforço multidisciplinar que integra os avanços da matemática, física, química, biologia e das ciências da terra e da computação (FLORENZANO, 2011).

No milho, para realizar estudos da interação da radiação eletromagnética do seu dossel, é necessário observar a variação dos efeitos fisiológicos e geométricos sobre as respostas espectrais das culturas, a partir dessas informações, inferir sobre parâmetros da vegetação tais como biomassa, albedo, fração da radiação fotossinteticamente ativa e índice de área foliar (PARKINSON; GREENSTONE; ALMEIDA, citados por ARAUJO et al., 2015).

Tem-se correlacionado os produtos advindos do sensoriamento remoto com as características biofísicas da vegetação, com objetivo de estabelecer relações entre o padrão de evolução do crescimento das plantas ao longo do tempo com a geração e análise de índices de

vegetação, permitindo avaliar índice de área foliar, biomassa vegetal, teor de clorofila, produtividade e a radiação fotossinteticamente ativa e absorvida pelo dossel (PELLEGRINO et al., 2007; SIMÕES et al., 2009; RUDORFF et al., 2010; PONZONI et al., 2012; REGÔ et al., 2012).

O NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) é um indicador da intensidade da atividade de clorofila das plantas do local imageado. Seus valores variam de -1 a +1. Para superfícies com alguma vegetação o NDVI varia de 0 a 1, já para água e nuvens o NDVI é menor que zero. O valor do NDVI é obtido através da equação que expressa a razão da diferença das reflectâncias do infravermelho e do vermelho pela soma das mesmas (ARAUJO, 2016).

Com base no exposto, o objetivo com este trabalho foi monitorar uma área plantada com milho (*Zea mays* L.) por intermédio do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), e estabelecer uma correlação entre diferentes níveis de adubação nitrogenada e NDVI.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. MILHO

A cultura do milho por ser de origem subtropical, tem a necessidade de altas temperaturas para germinação e crescimento e, em certos casos, a exigência de dias curtos para florescimento para se proporcionar rendimentos compensadores (DIDONET et al., 1998). A temperatura do ar e do solo reflete na divisão e na extensão celular durante o desenvolvimento do milho. Este efeito tem início no crescimento das folhas e, posteriormente, na alongação do colmo (DELOUCHE; citado por SANTANA, 2012).

Segundo Santana (2012), na escolha da área para cultivo de milho devem ser observadas as características de textura e drenagem do solo. A cultura requer solos com mais de 15% de argila e boa drenagem, sendo recomendados, solos de textura média, com teores de argila entre 30 e 35%. Solos excessivamente arenosos devem ser evitados, pois possuem baixa capacidade de armazenagem de água e nutrientes, tem alta susceptibilidade à erosão, apresentam intensa lixiviação, perdem mais água por evaporação e são geralmente mais secos.

Segundo Araujo (2016), a cultura do milho está espalhada por todo o planeta e é plantada em quase todos os países, podendo ser encontrada nas mais variadas condições de clima e manejo: de clima tropical, sub-tropical e temperado, desde o nível do mar até áreas acima de três mil metros de altitude; de áreas de menos de 600 mm de precipitação até áreas com de 2.500 mm ano<sup>-1</sup>; em lavouras com menos de 10 mil plantas ha<sup>-1</sup> e produtividades menores que 1.000 kg ha<sup>-1</sup>, até lavouras com mais de 100 mil plantas ha<sup>-1</sup> e produtividades maiores do que 15.000 kg ha<sup>-1</sup>, de sementes de paiol ou de variedades antigas até sementes transgênicas com tratamentos adicionais.

A cultura do milho possui uma taxa de extração de nitrogênio, fósforo, potássio, magnésio e cálcio que aumenta linearmente de acordo com o aumento da produção, e se tratando da exigência nutricional, o milho tem maior necessidade de nitrogênio e potássio, seguido de cálcio, magnésio e fósforo (COELHO ; FRANÇA, 2005).

### 2.2. ADUBAÇÃO DE BASE DO MILHO

#### 2.2.1 Nitrogênio (N)

O N é o elemento que mais limita o crescimento vegetal e sua baixa disponibilidade tem sido associada à redução da divisão e expansão celular, da área foliar da fotossíntese. É

fundamental no metabolismo das plantas e está associado à síntese de proteínas e compostos orgânicos. A maioria das espécies vegetais é capaz de absorver e assimilar nitrato, amônio, uréia e aminoácidos como fonte de N, mas a preferência pela fonte varia de espécie para espécie. Entre as fontes minerais de nitrogênio, nitrato é a mais importante para o crescimento das plantas (CARVALHO, 2005).

O N é um dos elementos absorvidos em maior quantidade pelas culturas de milho e também pode ser o mais limitante para o mesmo, pois o N atua na biossíntese de proteínas e clorofilas, sendo muito importante durante todo o estágio fenológico, que influenciará diretamente a produtividade final da cultura. A disponibilidade deste nutriente no solo está vinculada entre outros fatores, à relação carbono/nitrogênio (C/N) dos resíduos culturais, principalmente no sistema plantio direto, onde os mesmos permanecem na superfície do solo. As exigências por N nos estádios iniciais de desenvolvimento da cultura de milho, apesar de serem pequenas, são importantes para promover um rápido desenvolvimento inicial e definir a produção potencial dessa cultura (VICTORIA et al., 1992; SALET et al., 1997; ROS et al., 2003).

### **2.2.2 Fósforo (P)**

O P é crucial no metabolismo das plantas, desempenhando papel importante na transferência de energia da célula, na respiração e na fotossíntese. A planta em crescimento pode apresentar diferentes estádios na nutrição mineral, tendo em conta o balanço entre os suprimentos interno e externo de nutrientes e a demanda da planta por nutrientes. Inicialmente, as plantas vivem de suas reservas na semente, e o suprimento externo tem pouco efeito no crescimento (YAMADA, 1997).

O estresse moderado de P pode não produzir sintomas evidentes de deficiência. Porém, sob deficiência mais severa, as plantas adquirem coloração que varia de verde-escura a púrpura. A deficiência de fósforo pode reduzir tanto a respiração como a fotossíntese; porém, se a respiração reduzir mais que a fotossíntese, os carboidratos se acumulam, deixando as folhas com coloração verde-escura. A deficiência também pode reduzir a síntese de ácido nucléico e de proteína, induzindo a acumulação de compostos nitrogenados solúveis (N) no tecido. Finalmente, o crescimento da célula é retardado e potencialmente paralisado. Como resultado, os sintomas de deficiência de P incluem diminuição na altura da planta, atraso na

emergência das folhas e redução na brotação e desenvolvimento de raízes secundárias, na produção de matéria seca e na produção de sementes (YAMADA, 1997).

O P ocorrente no solo, de interesse agrônômico ou ambiental, é constituído por compostos derivados do ácido ortofosfórico e, menos comumente, dos pirofosfatos. Os minerais primários fosfatados comuns em rochas são as apatitas, de onde são liberados durante a intemperização, resultando em minerais secundários mais estáveis termodinamicamente, ou incorporados a compostos orgânicos biologicamente. A dinâmica do fósforo no solo está associada a fatores ambientais que controlam a atividade dos microrganismos, os quais imobilizam ou liberam os íons ortofosfato, e às propriedades físico-químicas e mineralógicas do solo (SANTOS, 2008).

Em solos jovens e nos moderadamente intemperizados, como os Vertissolos, Chernossolos e os Neossolos, ainda ocorre P em minerais primários, mas a maior parte deste elemento se encontra na forma orgânica (Po), ou na forma mineral (Pi), adsorvida fracamente aos minerais secundários. Nos solos altamente intemperizados, como os Latossolos, predominam as formas inorgânicas ligadas à fração mineral com alta energia e as formas orgânicas estabilizadas física e quimicamente (GATIBONI, 2008).

Para entender a sua dinâmica, o P do solo é dividido em dois grandes grupos, P inorgânico (Pi) e P orgânico (Po), dependendo da natureza do composto a que está ligado. O grupo do Pi pode ser separado em duas partes, o fósforo dos minerais primários e o P adsorvido. Ele compõe um intrincado grupo de fosfatos inorgânicos, formando diferentes compostos e com diferentes graus de estabilidade química. Pode ser encontrado ligado aos grupos funcionais silanol e aluminol das arestas das argilas silicatadas e nos R-OH dos oxihidróxidos de ferro e alumínio e, inclusive, adsorvido à matéria orgânica do solo através de pontes de cátions (KAMINSKI, 2007).

Sob o ponto de vista da fertilidade do solo, independentemente da natureza química, o P é dividido de acordo com a facilidade com que repõe a solução do solo. A separação do P em formas lábeis, moderadamente lábeis e não lábeis, mesmo que essa subdivisão seja imprecisa, ajuda no entendimento da dinâmica da disponibilidade do P. Com a adição de fertilizantes fosfatados, há o acúmulo de P em formas inorgânicas e orgânicas com diferentes graus de energia de ligação, embora o acúmulo das formas inorgânicas seja mais pronunciado. A redistribuição de P em diversas formas quando da adubação também ocorre em solos cultivados sob sistema plantio direto. Observa-se a formação de uma camada na superfície do solo com alta disponibilidade de nutrientes, principalmente de P (SANTOS, 2007).

### 2.2.3 Potássio (K)

O K é absorvido pelas plantas na forma de íon  $K^+$ . As plantas absorvem o potássio da solução do solo, onde a concentração é mantida pelo equilíbrio com o potássio retido nos sítios de troca (trocável). Entretanto, quando concentração de K na solução atinge valores muito baixos, pode haver difusão de parte do potássio contido nas estruturas dos argilominerais e dissolução dos minerais primários que contém K, indicando que as formas de K não trocáveis são potencialmente disponíveis para as plantas (DANTAS,1987).

Ainda segundo Dantas (1987), um elemento muito móvel nas plantas, tanto dentro da célula individual, como dentro de tecidos. O K não é constituinte de nenhuma molécula orgânica no vegetal, entretanto contribui em varias atividades bioquímicas sendo um ativador de grande numero de enzimas, regulador da pressão osmótica (entrada e saída de água da célula),abertura e fechamento dos estômatos. O K é importante na fotossíntese, na formação de frutos, resistência ao frio e às doenças.

Com a expansão do sistema plantio direto, aumentou a necessidade de se conhecer a mobilidade vertical de cada nutriente no solo, uma vez que, nesse sistema, os fertilizantes são aplicados nos centímetros superficiais, sem incorporação posterior. A mobilidade dos nutrientes no perfil pode afetar a sua disponibilidade aos vegetais e as perdas por lixiviação. Por isso, também pode influenciar na escolha das técnicas mais adequadas de fertilização do solo, como épocas e doses, pois o manejo inadequado da adubação potássica pode trazer problemas ambientais e, ou, econômicos (WERLE, 2008).

A disponibilidade de K, assim como a capacidade de suprimento deste nutriente pelo solo, depende da presença de minerais primários e secundários, da aplicação de fertilizantes e da CTC do solo, além da ciclagem do nutriente pelas plantas. Em outras palavras, a disponibilidade depende das formas de K presentes e da quantidade armazenada em cada uma dessas formas , aspectos que contribuem na movimentação e dinâmica do K no perfil do solo. A passagem do K da forma trocável para a não trocável pode ser rápida, dependendo da concentração do nutriente na solução do solo, fazendo com que seja possível a ocorrência de perdas por lixiviação das formas inicialmente não disponíveis, devido à tendência natural de equilíbrio do solo (GARCIA, 2008).

Segundo Werle (2008), todos os solos, em maior ou menor grau, apresentam K em formas não-trocáveis, ou não extraídas convencionalmente para avaliar a disponibilidade de K. Estas formas de K no solo podem suprir as plantas de modo indireto, repor o K trocável

ou ser absorvidas por algumas espécies. Dessa forma, o K trocável é tido como reserva prontamente disponível às plantas ou aquela absorvida pelas plantas no período de cultivo, enquanto o K não-trocável constitui uma reserva que pode ser utilizada à medida que os teores do K trocável diminuem. Assim, as formas não-trocáveis dão uma idéia da fração de K que poderá estar disponível às plantas e sua relação no sistema solo-planta.

Nos solos altamente intemperizados, o K trocável do solo pode constituir a reserva mais importante disponível às plantas. A recomendação de adubação potássica é fundamentada principalmente nos teores de K trocável do solo, porém admitem que outras duas fontes de K podem contribuir, em curto prazo, para a nutrição das plantas. Essas fontes são as formas não-trocáveis de K em alguns solos e o K presente nos restos culturais. De fato, demonstrou-se que o K não-trocável do solo pode ser absorvido em quantidades consideráveis por várias espécies vegetais em diversos tipos de solos brasileiros (ROSOLEM, 2008).

### 2.3. SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto é definido como a tecnologia que permite obter dados da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. Dependendo da localização dos sistemas sensores, o processo de aquisição de dados espectrais pode ser feito em três níveis: terrestre, se estiverem instalados em mastros ou dentro de laboratórios; suborbital, geralmente em aeronaves; e orbital, onde se empregam os satélites não tripulados e/ou balões (ROSA; FLORENZANO; MOREIRA; citado por SILVA et al., 2014).

De acordo com Silva et al. (2014), dentro do sensoriamento remoto há uma série de aplicações que vão desde o estudo de ambientes naturais e transformados e o monitoramento de fenômenos ambientais, até a previsão de safras agrícolas; destacam inclusive que o sensoriamento remoto é uma ferramenta que tem também um grande potencial de uso no manejo de sistema de agricultura de precisão, sistema que tem como elemento-chave o gerenciamento da variabilidade espacial e temporal da produção e dos fatores nela envolvidos.

Entre os principais programas espaciais de obtenção de imagens de satélites, em outubro de 1999, Brasil e China lançaram o CBERS 1 (*China-Brazil Earth Resources Satellite*), munido de três sensores concebidos para o monitoramento da cobertura vegetal em diferentes escalas. Entre estes, destaca-se o CCD (*Charge Coupled Device*), com 20 m de resolução, uma banda pancromática e bandas no azul, verde, vermelho e infravermelho

próximo, sendo utilizado em monitoramento de áreas desmatadas na Amazonia e mapeamento de vegetação do bioma cerrado (Epiphanyo, 2005, Citado por Ferreira et al., 2008)

O sistema LANDSAT (LAND SATellite) foi o primeiro a obter de forma sistemática, imagens terrestres sinópticas de média resolução. Desenvolvida pela NASA a série de satélites LANDSAT iniciou sua operação em 1972. Os primeiros satélites eram equipados com os sensores Multispectral Scanner System (MSS). Esses sensores já tinham a capacidade de coletar imagens separadas em bandas espectrais em formato digital, cobrindo a cada imagem uma área de 185 km X 185 km, com repetição a cada 18 dias (USGS, 2013).

O satélite Landsat-8 é o mais recente de sua série. Foi lançado no dia 11 de fevereiro de 2013 pela NASA da base aérea de Vandenberg no estado da Califórnia (EUA), operando a uma altitude de 705 km, numa órbita heliosincrona com inclinação de 98,2° (ligeiramente retrógrada), semelhante às órbitas das séries Landsat 5 e 7. A sua passagem na linha do Equador ocorre às 10:00 horas, com diferença de 15 minutos para mais ou para menos. A cobertura das imagens desse satélite é de praticamente todo o globo, com exceção para as mais altas latitudes polares, ocorrendo a revista a cada 16 dias. A plataforma Landsat-8 opera com 2 instrumentos imageadores, sendo o primeiro, *Operational Land Imager (OLI)*, com 9 bandas espectrais, e o *Thermal Infrared Sensor (TIRS)*, com duas bandas Infravermelho (USGS; citado por COELHO, 2013).

### **2.3.1. Índices de Vegetação**

No sensoriamento remoto quando se pretende estudar a cobertura vegetal, as características espectrais das folhas são de suma importância, pois as mesmas são função de sua composição química, morfologia e estrutura interna. As folhas são constituídas por diferentes tecidos, entre eles a face ventral revestida pela cutícula, epiderme, seguido pelo mesófilo paliádico, mesófilo esponjoso, novamente epiderme e cutícula (SILVA et al., 2012; PONZONI et al., 2012).

No mesófilo paliádico são encontrados a maior parte dos cloroplastos, os quais armazenam os pigmentos, clorofilas e carotenóides, responsáveis pela fotossíntese. As clorofilas, são as principais responsáveis pelo processo fotossintético e atuam diretamente na captação da energia eletromagnética. Os carotenóides são pigmentos auxiliares da fotossíntese e atuam indiretamente aumentando a capacidade da clorofila para converter a radiação eletromagnética em energia química (SILVA et al., 2012).



De acordo com Rêgo et al. (2012) e Moreira (2003), a região do espectro eletromagnético classificada como visível (0,4-0,7  $\mu\text{m}$ ) estão inseridas as faixas do azul (0,45  $\mu\text{m}$ ) e vermelho (0,65  $\mu\text{m}$ ), e nestas respectivas faixas ocorrem baixa reflectância devido a absorção de energia pelos pigmentos fotossintetizantes como a clorofila. Por outro lado, a região do infravermelho que é dividida em: infravermelho próximo (0,7-1,3  $\mu\text{m}$ ), infravermelho médio (1,3-6,0  $\mu\text{m}$ ) e infravermelho distante (6,0-1000  $\mu\text{m}$ ), ocorre intensa reflexão da energia nas folhas.

Para quantificar a variação da energia refletida e absorvida pelas folhas, e consequentemente o comportamento espectral da vegetação, foram criados os índices de vegetação que realizam uma combinação de valores de diferentes regiões do espectro eletromagnético, geralmente nas faixas do vermelho e infravermelho próximo, que geram índices capazes de remeter a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa, índice de área foliar, vigor vegetativo, atividade fotossintética e produtividade (EPIPHANIO et al., 1996; PONZONI et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2016;).

O uso de índices de vegetação, como o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), o índice de água por diferença normalizada (NDWI) e o índice de vegetação realçada (EVI), permitem o monitoramento de culturas agrícolas com grande eficiência e baixo custo operacional (REMBOLD e MASELLI, 2006; YI et al., 2007; FERNANDES et al., 2011).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O experimento foi conduzido na Fazenda Estância TTA, do Proprietário Mario Chaves Pugas, com altitude de 877 m, no município de Silvânia-GO, nas proximidades da GO 139-km 06, trecho Silvânia/Alexânia, mais precisamente nas coordenadas geográficas, 16°37'20.2"S; 48°33'53.2"W, em solo classificado como Latossolo Bruno Distrófico Húmico, textura argilosa.

#### **3.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL**

Será utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo que os tratamentos corresponderam a um híbrido comercial 2B688-Pw da DowAgrociences para forragem, submetido a três níveis de adubação de base diferentes. Foi adotado o espaçamento de 0,70 m entre linhas, sendo cada parcela constituída por 12 linhas de 180 m de comprimento.

A semeadura foi realizada dia 06/12/2017 com adubo 5-25-15 sendo o recomendado (Figura 1) 450 Kg ha<sup>-1</sup> distribuído por uma semeadora/adubadora de plantio direto convencional, no dia 06/12/2017, em área sob plantio direto, com área gradeada e nivelada. O estande foi ajustado para densidade de 71 mil plantas ha<sup>-1</sup>, com 5 plantas m<sup>-1</sup>. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada parcelada em duas aplicações de 150 Kg ha<sup>-1</sup>, sendo a primeira no estágio V4 para todos os tratamentos, e a segunda em V7. Os tratamentos de adubação de base e cobertura foram: Tratamento 1 (T1) -Testemunha – sem adubo de base e com cobertura, Tratamento 2 (T2) com 50% abaixo da recomendação desejada (225 Kg ha<sup>-1</sup>), Tratamento 3 (T3) com a adubação recomendada (450 Kg ha<sup>-1</sup>), Tratamento 4 (T4) com 50% acima da adubação recomendada (675 Kg ha<sup>-1</sup>).

O milho foi ensilado dia 17/03/2018.



**LABORATÓRIO - SEDE**  
 Av. Dom Bosco, nº 2.000,  
 Park Anchieta CEP: 75.180-000  
 Silvânia-GO (62) 3332-1139

**PONTO DE COLETA**  
 Av. E, Nº 1.470, Ed. JK, Sala 412  
 Jd. Goiás, CEP: 74.810.030  
 Goiânia-GO (62) 3928-1139

Nome: *ÉRCULES* Remetente: *01 - Particular*  
 Propriedade: *Não Fornecido.*  
 Município: *SILVÂNIA / GO* Data: *01-mar-18*

Nro.	Gleba	pH CaCl <sub>2</sub>	cmol <sub>e</sub> /dm <sup>3</sup> (meq/100mL)					mg/dm <sup>3</sup> (ppm)			
			Ca+Mg	Ca	Mg	Al	H+Al	K	K	P Mehlich	S
0438	AM - 01	5,30	4,80	3,50	1,30	0,0	4,50	0,40	158,0	15,0	5,7

Nro.	Gleba	% g/dm <sup>3</sup>		% C. Org.	Micronutrientes mg/dm <sup>3</sup> (ppm)					
		Mat. Org.	Mat. Org.		Zn	B	Cu	Fe	Mn	
0438	AM - 01	2,8	27,6	1,6						

Dados complementares											
Nro.	Gleba	CTC	Sat. Bases	Sat. Al	Ca/Mg	Ca/k	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC	H+Al/CTC
0438	AM - 01	9,7	53,6	0,0	2,7/1	8,7/1	3,2/1	36,1	13,4	4,2	46,4

Análise textural									
Nro.	Gleba	g/kg			%			Classificação	
		Argila	Silte	Areia	Argila	Silte	Areia		
0438	AM - 01	410,0	210,0	380,0	41,0	21,0	38,0	Argilosa	

Observações: \* = Resultados repetidos e confirmados

Responsabilidade Técnica

*Michele Ap<sup>a</sup> de Sousa*  
 Michele Ap<sup>a</sup> de Sousa  
 CRQ-XII 12200790

**INTERPRETAÇÃO**

pH 5,5 - 6,0	Al 0,0 - 0,2	S 10,0 - 20,0	Cu 1,2 - 2,4	Zn 2,0 - 4,0
Ca 2,0 - 5,0	K 60,0 - 180,0	M.O. 1,5 - 3,0	Fe 40,0 - 80,0	B 0,4 - 0,8
Mg 0,5 - 1,5	P 10,0 - 30,0		Mn 20,0 - 40,0	

Figura 1: Análise de solo da área para recomendação de adubação

### 3.3. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

Foram utilizadas imagens captadas pelo sensor OLI do satélite Landsat 8 com datas de passagem das respectivas imagens coincidindo com as datas de semeadura da área em estudo, ou a primeira imagem disponível logo após a semeadura. Vão ser obtidas novas cenas a cada 16 dias, que corresponde a resolução temporal do satélite, até que se finalize o ciclo da cultura.

As imagens obtidas passaram por um processo de refinamento para definir quais cenas podem ser utilizadas em função da visibilidade da cena (atmosfera livre de presença de nuvens), qualidade do imageamento do sensor (sem ruídos) e a homogeneidade do período da captura da cena.

Em cada cena previamente selecionada foi realizada uma transformação dos números digitais (ND) das bandas do vermelho (banda 4) e infravermelho próximo (banda 5) em reflectância. Para ocorrer está transformação foram utilizadas as equações 1 e 2 propostas pelo *United States Geological Survey – USGS* no guia do produto Landsat 8 (USGS, 2015).

$$\rho_{\lambda}^- = M_p * Q_{cal} + A_p, \quad (1)$$

Onde  $\rho_{\lambda}^-$  é a reflectância planetária do topo da atmosfera (TOA) sem correção do ângulo solar;  $M_p$  é o fator multiplicativo redimensionado da reflectância para a banda vermelha e infravermelha próxima;  $Q_{cal}$  o número digital do pixel;  $A_p$  o fator aditivo redimensionado da reflectância para a banda vermelha e infravermelha próxima (Eq. 2).

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda}^-}{\text{Sen}(\theta_{SE})}, \quad (2)$$

Onde  $\rho_{\lambda}$  é a reflectância do topo da atmosfera (TOA);  $\theta_{SE}$  é o ângulo de elevação solar.

Os valores do fator multiplicativo da reflectância, fator aditivo da reflectância e ângulo de elevação solar foram obtidos dos metadados anexados as imagens utilizadas e disponibilizado de maneira gratuita pela USGS.

As imagens foram agregadas em ambiente SIG utilizando o software Arcgis 10.1® (ESRI, 2014), georreferenciados no Datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico das Américas) e sistema de coordenadas *Universal Transversa de Mercator* - UTM.

O índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foi processado seguindo as metodologias propostas por Rouse et al., (1973). O “*Normalized Difference Vegetation Index*” (NDVI) é o índice de vegetação mais utilizado no processamento de dados de sensoriamento remoto, e explora as propriedades espectrais da vegetação em relação a quantidade de energia absorvida na faixa do visível do espectro eletromagnético e sua respectiva reflexão no infravermelho próximo. O NDVI foi proposto por Rouse et al (1973), varia de -1 a +1 (quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal), e pode ser obtido pela equação 3 (Eq. 3).

$$NDVI = \frac{(\rho_{ivp} - \rho_v)}{(\rho_{ivp} + \rho_v)}, (3)$$

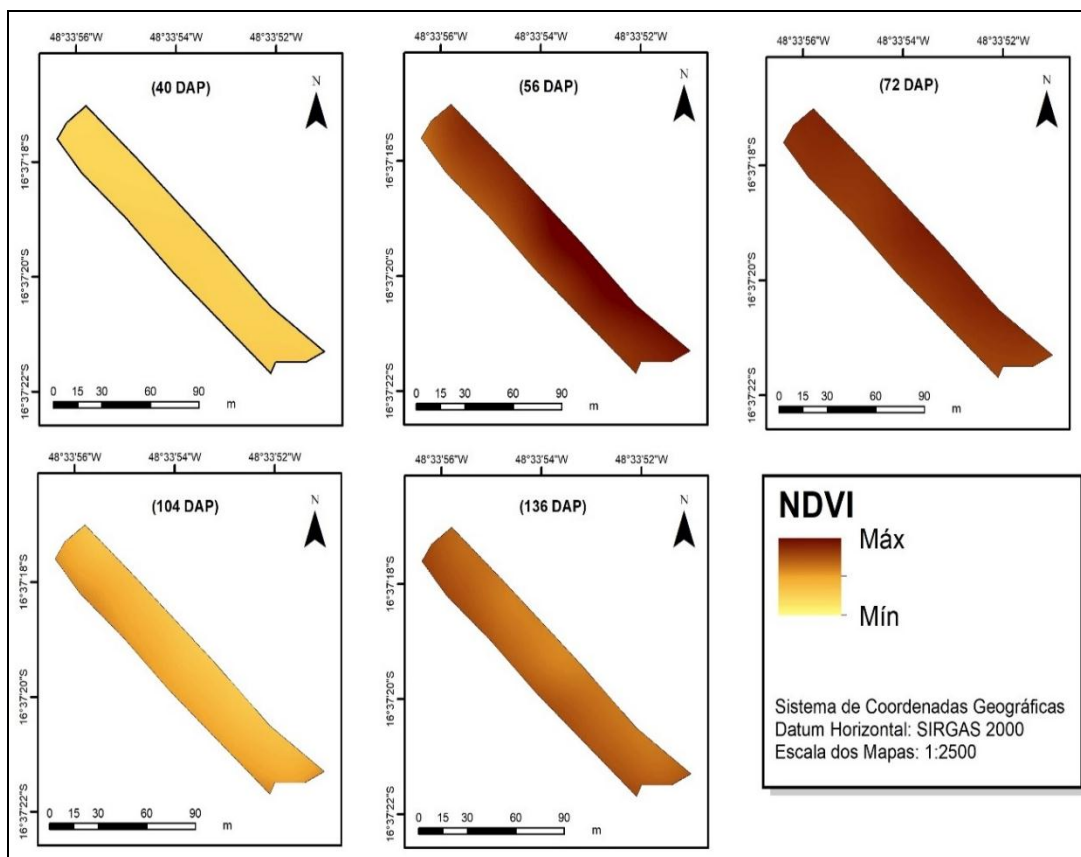
Em que,  $\rho_{ivp}$  corresponde a reflectância na banda do infravermelho próximo, e  $\rho_v$  a reflectância na banda do vermelho para as imagens previamente selecionadas.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do conhecimento ecofisiológico da cultura do milho, e análises visuais de cada tratamento, foi observado para a parcela testemunha (sem adubação) pequenas diferenças em relação à altura da planta, cor das folhas, tamanho das espigas e diâmetro de colmo. Para o T2, observou-se a diferença no tamanho das espigas em relação à testemunha. Para o T3, houve diferença em sua altura, diâmetro do colmo, cor das folhas e tamanho das espigas.

O T4 apresentou maiores diferenças visuais em relação à testemunha, altura da planta, cor das folhas, tamanho das espigas, diâmetro de colmo e além disso foi notado uma grande diferença em relação às folhas do baixeiro que ainda estavam verdes e as nas demais doses já haviam entrado em senescência.

As imagens mostradas na figura 2, mostram as variações do NDVI na área de experimento ao decorrer do desenvolvimento da cultura do milho.



**Figura 2: Variação do NDVI durante e depois do ciclo do milho.**

Não foi possível a utilização de imagens do crescimento inicial do milho devido à presença de nuvens nas imagens, e devido a isso, a primeira imagem utilizada foi após 40 dias após o plantio (DAP). Aos 40 DAP os valores de NDVI estão abaixo do esperado para esse estágio fenológico da planta, que é o período que a planta está no pico do desenvolvimento vegetativo entrando no pré-pendoamento.

Possivelmente os valores encontrados foram resultados de um período de veranico no mês de janeiro. Após observar os relatórios pluviométricos próximos dessa data (16/01/2018) no INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), foi constatado que essa alteração do NDVI foi devido ao déficit hídrico.

Aos 56 DAP o NDVI se normaliza devido à volta das chuvas regulares coincidindo com a época de pendoamento do milho, que é de maior atividade da planta. Nessa imagem é possível notar uma pequena área mais clara que o resto dela, isso é devido à uma forte chuva que ocorreu durante a germinação das plantas, que resultou no tombamento e perda de muitas plantas.

Nos 72 DAP a cultura ainda em enchimento de grãos está normalizada, e devido a presença de nuvens não possível a utilização da imagem de 88 DAP, por isso houve essa queda tão brusca do NDVI que pode ser observado na Figura 3.

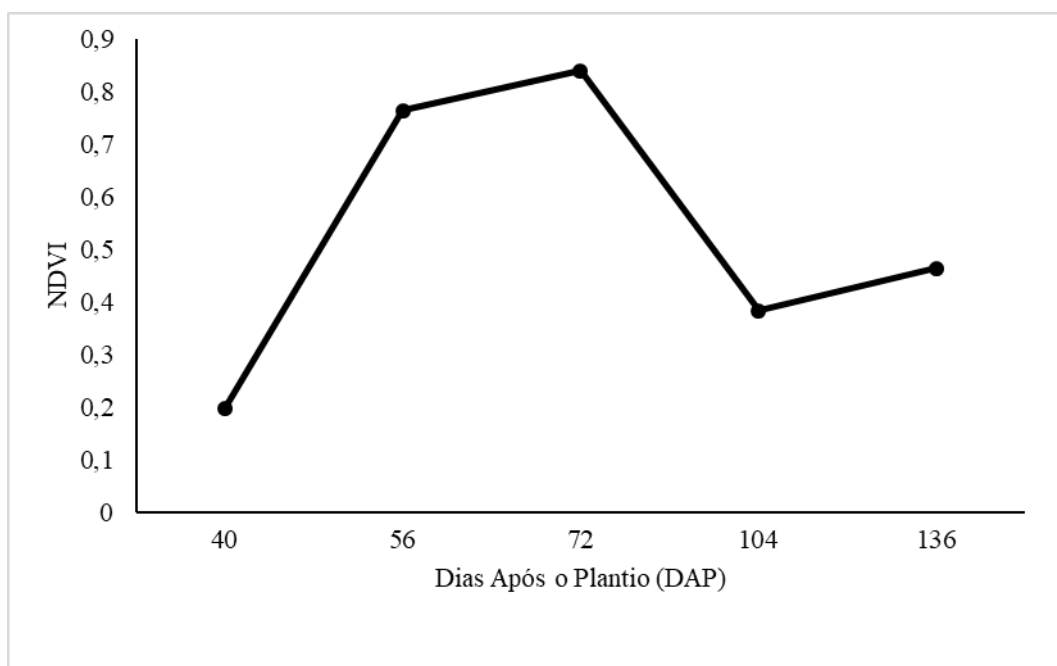


Figura 3: Comportamento espectral do NDVI da área cultivada.

Com o desenvolvimento das plantas o índice de área foliar se eleva juntamente com as taxas fotossintéticas, ocasionando crescimento rápido e maior demanda por água. A demanda por água e nutrientes aumenta, na medida em que ocorre aumento na taxa de crescimento, como estratégia de sobrevivência as plantas se tornam mais eficientes. O pico de maior eficiência ocorre juntamente no início do período reprodutivo. Com a maturidade da planta ocorre à diminuição das taxas de produtividade diária, juntamente ocorre redução da EUA (ARAÚJO, 2016).

A ensilagem foi feita aos 101 DAP, com a qual não foi possível a aferição do NDVI da cultura aos 105 DAP, que mesmo sem o milho na área, ainda possuía um NDVI maior que “0”, isso devido à presença de várias plantas daninhas presentes na área.

Para Araújo (2016) é possível observar que durante o desenvolvimento inicial da cultura do milho, entre o 1º e o 40º dia após o plantio, os valores de NDVI aumentam rapidamente, pois se trata de um período de elevadas taxas de crescimento da cultura, com ligeira expansão da área foliar. Entre o 40º e o 100º dia após o plantio, nota-se a estagnação dos valores de NDVI. Sendo que a diminuição dos valores de NDVI ocorre após o 100º dia, sendo ocasionada pela maturidade das plantas.

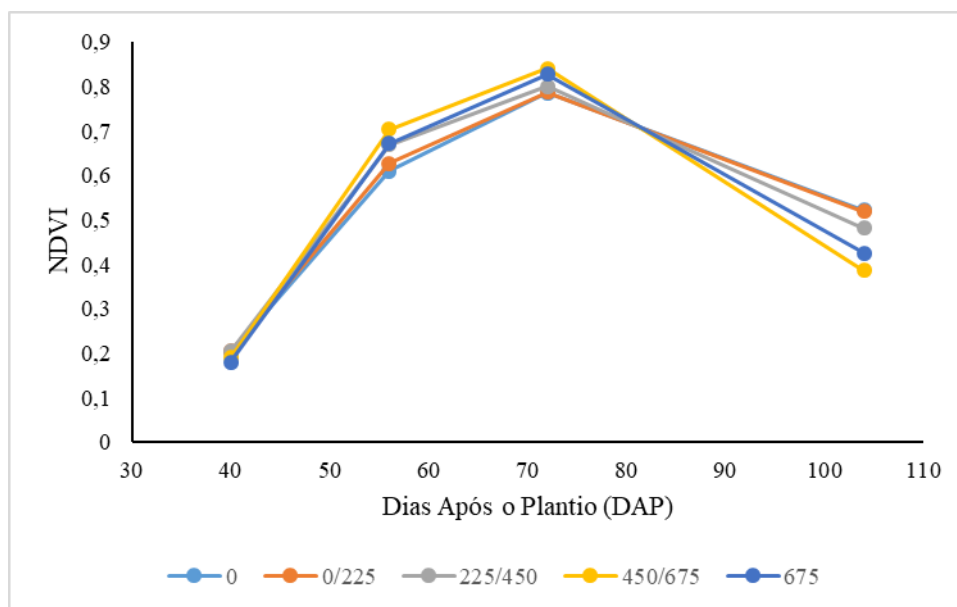


Figura 4: Comportamento espectral do NDVI em cada tratamento durante o ciclo do milho até 105 DAP.



Na figura 4, é mostrada a variação do NDVI de cada tratamento ao longo do ciclo da cultura. Pode ser observado através desse gráfico que todos os tratamentos possuem o NDVI próximo um do outro, e que ao decorrer dos dias, os tratamentos com as doses superiores de adubação se sobressaem em relação às outras, mesmo assim o NDVI da testemunha fica próximo ao do T2, isso é devido às características do solo que é fértil, além de ter sido incorporado esterco bovino ao solo no pré-plantio.

Para Cortinove (2013), o índice de vegetação e a altura, apresentaram valores significativos de correlação. Isso mostra que esses índices estão sendo capazes de identificar a resposta do milho às doses de fertilizantes, uma vez que a altura se torna diferente entre os tratamentos. Para a maioria dos índices de vegetação as avaliações dos estádios fenológico precoces são menos precisas, sendo necessário esperar a planta desenvolver mais folhas para demandar e extrair uma quantidade maior de nutrientes.

Aos 72 DAP é clara a diferença entre tratamentos, mas o T3 que possui o NDVI mais elevado até em relação ao T4, isso devido as plantas do T4 não conseguirem absorver e aproveitar toda a adubação oferecida. Esse NDVI era para continuar mantendo-se alto até os 100 DAP, e a partir de aí começar a decair gradativamente até a senescência das plantas.

A da imagem aos 88 DAP que não pôde ser utilizada devido à presença de nuvens, apenas iria continuar mostrando o aumento do NDVI, que quanto mais próximo vai chegando dos 100 DAP, mais lento vai ficando esse crescimento do NDVI, e após chegar aos 100 dias da cultura, ele se estagna e logo começa a decair.

## 5. CONCLUSÕES

Ficaram claras as diferenças morfológicas de cada tratamento (altura da planta, cor das folhas, tamanho das espigas e diâmetro de colmo), isso devido à ausência de adubação de base na testemunha e pela baixa quantidade no T2.

É possível determinar o comportamento espectral do NDVI do milho durante o seu ciclo fenológico de cada tratamento a partir das análises de imagens de sensoriamento remoto.

Os valores do NDVI obtido pelo T3 é superior ao demais durante todo o ciclo da cultura, ou seja, a planta corresponde melhor a essa adubação. Com a subdosagem de adubo as plantas não conseguem apresentar seu potencial produtivo. Por outro lado, a super adubação do milho não lhe causa distúrbios fisiológicos, apenas uma pequena resistência das folhas inferiores da planta à senescência em relação à adubação recomendada.

O NDVI de cada tratamento mostra a atividade clorofilática e fotossintética das plantas, sendo notável a maior atividade do T3, mostrando como a eficiência da adubação pode interferir em uma planta, tanto morfológicamente quanto fisiologicamente.

Com os dados obtidos pode-se afirmar que a melhor dose à ser escolhida é a de 450 Kg ha<sup>-1</sup>, pois ela apresenta diferenças mínimas de altura de planta, diâmetro de colmo, tamanho de espigas e maior atividade clorofilática e fotossintética em relação à dose superior (675 Kg ha<sup>-1</sup>), que por vez não cobrem os gastos com a adubação adicional investida.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAUJO, G. L.; ALMEIDA, T. S.; MANTOVANI, E. C.; OLIVEIRA, L. A. M.; AZEREDO, R. A. **Respostas espectrais e análise do índice de vegetação normalizado (NDVI) na cultura do milho irrigado**. I Seminário científico da FACIG. Manhuaçu-MG, 2016, 8p.
- ARAUJO, G. L. **Estimativas da evapotranspiração e produtividade do milho irrigado utilizando um modelo multiespectral e imagens do satélite Landsat 8**. Viçosa-MG, 2016, 94p.
- COELHO, A. L. N.; CORREA, W. de. S.C. Temperatura de superfície celsíus do sensor TIRS/LANDSAT-8: Metodologia e aplicações. **Revista Geografia Acadêmica**. v. 7, n. 1, p. 31-45, 2013.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Nutrição e adubação do milho**. Pesquisadores Embrapa, 2005, 17p.
- EIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.
- FERNANDES, J. L.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. Sugarcane yields estimates using time series analysis of Spot Vegetation images. **Scientia Agricola**, v.68, p.39-146, 2011.
- FERREIRA, L. G.; FERREIRA, N. C.; FERREIRA, M. E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado-da-arte. *Acta Scientiarum*. **Biological Sciences**, vol. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.
- GARCIA, R. A.; Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, pag. 2297-2305, 2008.
- GATIBONI, L. C. Adubação nitrogenada para o milho cultivado em sistema plantio direto, no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, n.1, p.62-68, 2008.
- OLIVEIRA, T. C; FERREIRA, E.; DANTAS, A. A. A. Temporal variation of normalized difference vegetation index (NDVI) and calculation of the cropcoefficient (Kc) from NDVI in areas cultivated with irrigated soybean. **Ciência Rural**, v. 46, p. 1683-1688, 2016.
- PELLEGRINO, G. Q.; PINTO, H. S.; ZULLO JÚNIOR, J.; ALMEIDA, C. A. S. de. Estimativa do índice de área foliar e da massa seca de colmos da cana de açúcar a partir de dados espectrais de campo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 49-58, 2007.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. São Paulo: Oficina dos Textos, 159 p., 2012.

RÊGO, S. C. A.; LIMA, P. P. S.; LIMA, M. N. S.; MONTEIRO, T. R. R. Análise comparativa dos índices de vegetação NDVI e SAVI no município de São Domingos do Cariri-PB. **Revista Geonorte**, v. 2, n. 4, p. 1217-1229, 2012.

REMBOLD, F.; MASELLI, F. Estimation of inter annual crop area variation by the application of spectral angle mapping to low resolution multitemporal NDVI images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.72, p.55-62, 2006.

ROS, C. O. da.; SALET, R. L.; PORN, R. L.; MACHADO, J. N. C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v. 33, n. 5, set-out, 2003.

ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 32, pag. 2297-2305, 2008.

SANTANA, C. T. C. de. Comportamento de milho (*zea mays* L.) e propriedades físicas do solo, no sistema plantio direto, em resposta a aplicação de fertilizante organomineral. **Universidade Estadual Paulista**. Botucatu-SP, 49 p., 2012.

SANTOS, D. R. **Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto**. *Ciência Rural*, Santa Maria v 38 ,n 2, p. 576-586 mar-abr, 2008.

GALVÍNCIO, J. D. **Sensoriamento Remoto e Análise Ambiental**. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2012, 13-19 p.

SILVA, S. F. da.; MENDES, D. F.; FERRARI, J. L.; SOUSA, E. F. de.; GARCIA, R. F.; SANTOS, A. R. dos. **Utilização dos sensoriamento remoto na agricultura de precisão: Uma análise bibliométrica**. *Nucleus*, v. 11, n. 2, p. 459-470, out. 2014.

SIMÕES, M. dos S.; ROCHA, J.V.; LAMPARELLI, R.A.C. Orbital spectral variables, growth analysis and sugarcane yield. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 66, n. 4, p. 451-461, 2009.

WERLE, R. **Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, pag. 2297-2305, 2008.

YAMADA, C. R. **Nitrogênio e potássio na adubação da cultura do milho**. *Informações Agrônomicas*. POTAFOS, Piracicaba, v.1, n.78, p.1-4, 1997.

YI, J. L. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; QUINTANILHA, J. A. **Identificação e mapeamento de áreas de milho na região Sul do Brasil utilizando imagens MODIS**. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.759-763, 2007.

CORTINOVE, L. **Comparação de índices de vegetação obtidos por sensor de refletância de dossel em milho sob diferentes doses de nitrogênio**. USP, São Paulo-SP, 18 p, 2013.