Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) visando estimativa
de fitomassa de adubos verdes

Sandra Thatiza Padovani de Moraes

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2020

Sandra Thatiza Padovani de Moraes
Engenheira de Biosistemas

**Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) visando estimativa de fitomassa de
adubos verdes**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador
Prof. Dr. **FABRÍCIO ROSSI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Engenharia de
Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Moraes, Sandra Thatiza Padovani de

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) visando
estimativa de fitomassa de adubos verdes / Sandra Thatiza Padovani de
Moraes. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011.
- - Piracicaba, 2020.

51 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz".

1. Adubação verde 2. *Fabaceae* 3. Índices vegetativos
4. Sensoriamento remoto I. Título

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, por todo apoio e incentivo, e as demais pessoas queridas, que mesmo com a distância, sempre estiveram e estarão presentes na minha vida.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela dádiva da vida e por sempre colocar verdadeiros anjos em meu caminho.

Aos meus pais, por todo carinho, por sempre acreditarem em mim e não medirem esforços para a realização dos meus sonhos.

Ao professor Dr. Fabrício Rossi, pela confiança, orientação no projeto de pesquisa e pelos grandes ensinamentos que levarei comigo para sempre.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” ESALQ/USP e Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos FZEA/USP pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

Ao Grupo GEBio – Sistemas e Engenharia, em especial aos bolsistas de iniciação científica que auxiliaram na execução do projeto de pesquisa.

À empresa Piraí sementes pela concessão das sementes dos adubos verdes, e ao professor Dr. Murilo Mesquita Baesso pelo empréstimo do Greenseeker®.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior - CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo e apoio financeiro.

A todos que de alguma forma contribuíram para a concretização deste trabalho.

Muito obrigada!

EPÍGRAFE

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

Arthur Schopenhauer

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1. Adubos verdes	13
2.2. Benefícios dos adubos verdes	13
2.3. Características dos adubos verdes estudados	14
2.3.1. <i>Crotalaria juncea</i>	14
2.3.2. <i>Crotalaria ochroleuca</i>	15
2.3.3. <i>Crotalaria spectabilis</i>	16
2.3.4. <i>Cajanus cajan</i>	17
2.3.5. <i>Canavalia ensiformis</i>	18
2.3.6. <i>Panicum maximum</i> cv. Tobiatã	19
2.4. Produção de fitomassa dos adubos verdes	19
2.5. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	20
2.6. Greenseeker®	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Área de estudo	25
3.2. Dados climáticos	25
3.3. Delineamento experimental	27
3.4. Preparo do solo, calagem, adubação e semeadura	28
3.5. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	29
3.6. Produção de fitomassa dos adubos verdes	29
3.7. Análises estatísticas	30
4. RESULTADO E DISCUSSÃO	31
4.1. Produção de fitomassa dos adubos verdes	31
4.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada	33
4.3. Correlação entre produção de fitomassa e NDVI	34
5. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	41

RESUMO

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) visando estimativa de fitomassa de adubos verdes

As fabáceas são as espécies mais utilizadas na adubação verde, devido a sua capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico a partir do processo de simbiose com bactérias diazotróficas. Estimar sua produtividade permite ao produtor o manejo correto da adubação para as culturas em sucessão ou rotação. O presente trabalho teve como objetivo acompanhar, através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*), o desenvolvimento vegetativo dos adubos verdes ao longo do tempo, visando estimar sua produção de fitomassa. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas; sendo a parcela composta pelos seis adubos verdes, *Crotalaria juncea* L. (crotalária-júncea), *Crotalaria spectabilis* Roth. (crotalária-espectábilis), *Crotalaria ochroleuca* L. (crotalária-ochroleuca), *Cajanus cajan* (guandu fava-larga), *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. (feijão-de-porco) e *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiatã (capim tobiatã), e a subparcela pelos tempos de avaliação da fitomassa (30, 40, 50, 60, 70 e 90 dias após emergência - DAE), com quatro repetições. Os adubos verdes foram conduzidos durante a fase vegetativa – até os 90 DAE, as avaliações do NDVI foram realizadas duas vezes por semana. Os adubos verdes apresentaram desenvolvimento satisfatório no período cultivado, sendo determinado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) ao longo do tempo, com valores máximos obtidos entre 55 e 69 dias, variando de 0,77 a 0,91. *C. spectabilis*, *P. maximum*, *C. cajan* e *C. ochroleuca* apresentaram forte correlação entre o NDVI e a produção de fitomassa, sendo que *C. ensiformis* e *C. juncea* apresentaram moderada correlação. O sensor óptico ativo permite estimar a produção dos adubos verdes ao longo do tempo, com precisão variando de acordo com a espécie.

Palavras-chave: Adubação verde, *Fabaceae*, Índices vegetativos, Sensoriamento remoto

ABSTRACT

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to estimate green manure phytomass

Fabaceae are the most commonly used species in green manure due to their ability to fix atmospheric nitrogen from the process of symbiosis with diazotrophic bacteria. Estimating its yield allows the producer to correctly manage fertilization for crops in rotation or succession. The present work aimed to monitor the vegetative development of green manures over time, through the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), to estimate its phytomass production. The experimental design was in randomized blocks with subplots; the plots were composed of six green manures, *Crotalaria juncea* L. (Sunn hemp), *Crotalaria spectabilis* Roth. (Showy crotalaria), *Crotalaria ochroleuca* L. (Sunn hemp), *Cajanus cajan* (Pigeon pea), *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. (Jack bean) and *Panicum maximum* Jacq. and the subplots were the evaluation times production phytomass (30, 40, 50, 60, 70 and 90 days after emergence - DAE), with four replicates. Green manures were conducted during the vegetative phase - until 90 DAE, NDVI evaluations were performed twice a week. The green manures showed satisfactory development within the cultivated period with NDVI values obtained over time presenting maximum values between 55 and 69 days, ranging from 0.77 to 0.91. *C. spectabilis*, *P. maximum*, *C. cajan* and *C. ochroleuca* showed a strong correlation between NDVI and phytomass production, while *C. ensiformis* and *C. juncea* presented moderate correlation with NDVI and phytomass. The active optical sensor allows to estimate its production, with precision varying according to the species.

Keywords: Green manuring, *Fabaceae*, Vegetation indices, Remote sensing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. <i>Crotalaria juncea</i> L.....	14
Figura 2. <i>Crotalaria ochroleuca</i> L.	15
Figura 3. <i>Crotalaria spectabilis</i> Roth.	16
Figura 4. <i>Cajanus cajan</i> Guandu IAC Fava-larga	17
Figura 5. <i>Canavalia ensiformis</i> (L.) D.C.	18
Figura 6. <i>Panicum maximum</i> Jacq. cv. Tobiatã.....	19
Figura 7. Curva característica da refletância espectral da vegetação	21
Figura 8. Sensor óptico ativo Greenseeker®	23
Figura 9. Temperaturas mínimas, máximas e médias (°C), precipitação acumulada e umidade relativa do ar (%) registradas até 90 dias após emergência (DAE) dos adubos verdes	26
Figura 10. Delineamento experimental em blocos ao acaso	27
Figura 11. Adubos verdes aos 90 dias após emergência: (a) feijão-de-porco; (b) crotalária-espectabilis; (c) crotalária-ochroleuca	30
Figura 12. Regressões de ajuste quadrático dos adubos verdes do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) ao longo do tempo (dias após emergência - DAE).....	33
Figura 13. Correlação de pearson (r) da massa fresca da parte aérea (MFPA) dos adubos verdes, respectivamente aos 60 e 70 dias após emergência (DAE).....	36
Figura 14. Correlação de pearson (r) da massa seca da parte aérea (MSPA) dos adubos verdes, respectivamente aos 60 e 70 dias após emergência (DAE).....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado da análise química do solo na camada 0-0,20m.....	28
Tabela 2. Massa fresca (MFPA) e Seca da parte aérea (MSPA) dos adubos verdes ($t\ ha^{-1}$) avaliados ao longo do tempo (DAE – dias após emergência)	31
Tabela 3. Dias Após Emergência Máximo (DAE MÁX) E Índice De Vegetação Por Diferença Normalizada Máximo (NDVI MÁX)	34

1. INTRODUÇÃO

Os adubos verdes, também denominados de condicionadores de solo, plantas melhoradoras, recuperadoras, protetoras ou plantas de cobertura, são assim nomeados uma vez que são utilizados para a melhoria dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, além de reestabelecer o equilíbrio do sistema agrícola (SILVA et al., 2014; KARYOTI et al., 2018; LITHOURGIDIS et al., 2011).

O cultivo dos adubos verdes pode ser feito em consórcio, rotação ou sucessão com as culturas de interesse comercial, uma vez que visa diminuir o uso excessivo de fertilizantes minerais e agrotóxicos, evitar a erosão do solo, a lixiviação dos nutrientes e melhorar a capacidade de retenção de água, estrutura e fertilidade do solo (CALEGARI, 2014; KARYOTI et al., 2018; MEDEIROS et al., 2019; WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

O nitrogênio (N) é um dos elementos químicos essenciais na agricultura, pois atua diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas (ALBUQUERQUE et al., 2013; COLLIER et al., 2011; KAPP JUNIOR; GUIMARÃES; CAIRES, 2016).

Plantas com baixa disponibilidade de N têm sua atividade metabólica reduzida, amarelecimento e clorose das folhas mais velhas, o que gera uma redução na taxa de fotossíntese (BREDEMEIER, 2017; MOTOMIYA, 2009). Por este motivo, o cultivo de adubos verdes, em especial as fabáceas, que são capazes de realizar a fixação biológica de nitrogênio (FBN) com eficiência, representam grande interesse desde tempos remotos (ROSSI; CARLOS, 2014).

As fabáceas (leguminosas) são as espécies mais utilizadas como adubos verdes, pois possibilitam a fixação do nitrogênio atmosférico através do processo de simbiose com bactérias presentes nas raízes, o que diminui a necessidade do emprego de fertilizantes químicos (ALBUQUERQUE et al., 2013; TEODORO et al., 2011). Todavia, as poáceas (gramíneas), crucíferas e compostas também possam ser utilizadas (ALBUQUERQUE et al., 2013; WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

As fabáceas agregam ainda outros benefícios, como controle de nematoides, produção de forragem e grãos para alimentação animal e alimentação humana, controle de ervas daninhas e rápida decomposição da fitomassa (ALBUQUERQUE et al., 2013; CALEGARI, 2014).

Sendo assim, é fundamental o uso de ferramentas que possibilitem de maneira não destrutiva, rápida e em tempo real estimar o potencial produtivo dos adubos verdes, direcionando as decisões em relação a adubação que serão recomendadas às culturas em

rotação ou sucessão (GROHS et al., 2011). Essas estimativas podem ser feitas através do uso de sensores ópticos proximais – ativos ou passivos, que funcionam categorizando os diversos índices de vegetação que são obtidos pela refletância do dossel.

Existem diversos índices, entre eles, o GNDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada do Verde), proposto por GITELSON; KAUFMAN; MERZLYAK (1996); NDWI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada da Água), proposto por GAO (1996), mas o principal e mais estudado é o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), proposto por ROUSE et al., (1974) que correlaciona as refletâncias no infravermelho próximo e no vermelho, possibilitando obter informações específicas das culturas, quantificar a produção de clorofila, a fase de desenvolvimento e a absorção de energia da planta (STAMATIADIS et al., 2010; AMARAL; MOLIN, 2011; BREDEMEIER et al., 2013).

No contexto da consorciação, da rotação ou sucessão de culturas, a degradação da fitomassa está diretamente relacionada ao aporte de nutrientes ao solo, sendo essencial conhecer a produção dos adubos verdes.

Deste modo, o objetivo geral deste estudo foi acompanhar, através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o desenvolvimento vegetativo ao longo do tempo, visando estimar a produção de fitomassa dos adubos verdes. Foram objetivos secundários: - determinar a produção de fitomassa (fresca e seca) dos adubos verdes ao longo do desenvolvimento vegetativo; - verificar o tempo em que cada adubo verde atinge o valor máximo de NDVI; - e correlacionar os valores de NDVI com a produção de fitomassa dos adubos verdes.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Adubos verdes

A adubação verde foi utilizada como prática agrícola por mais de 2000 anos sem explicação técnica dos benefícios que ela propiciava. Apenas no final do século XIX comprovou-se que as nodosidades encontradas nas raízes das leguminosas continham bactérias e que estas apresentavam a capacidade de fixar nitrogênio do ar no solo (ROSSI; CARLOS, 2014).

Adubação verde é a prática de cultivo que consiste no plantio, principalmente de fabáceas (leguminosas), em consórcio, rotação ou sucessão com culturas de interesse comercial com o objetivo de proteger o solo da erosão, da perda de nutrientes e de preservar ou restaurar sua matéria orgânica (RUGARE; PIETERSE; MABASA, 2019; SARMENTO et al., 2019).

2.2. Benefícios dos adubos verdes

Entre os benefícios dos adubos verdes, pode-se destacar: proteção física do solo contra erosão, lixiviação de nutrientes, melhoramento da infiltração da água, manutenção da umidade, diminuição das temperaturas máximas e consequentemente da amplitude térmica (DANTAS et al., 2019; RUGARE; PIETERSE; MABASA, 2019); aumento de produtividade da cultura em consórcio ou da cultura em sucessão, reciclagem de nutrientes, aumento da diversidade biológica, extração e mobilização de nutrientes em camadas profundas do solo, equilíbrio do pH, sequestro de carbono (C) (AITA; GIACOMINI; CERETTA, 2014; RUGARE; PIETERSE; MABASA, 2019; SARMENTO et al., 2019), solubilização de macronutrientes (N, P e K) e de micronutrientes (Mn, Fe, Cu, Zn), solubilização P insolúvel, aumento da efetividade da CTC (troca de cátions), diminuição dos teores de alumínio (DWIVEDI et al., 2016; KOEHLER-COLE et al., 2017; TANI et al., 2017).

De grande importância também, o controle de pragas, doenças e ervas daninhas através da ação alelopática; e no caso específico das fabáceas, a fixação biológica de nitrogênio (FBN), que acontece a partir da simbiose com bactérias presentes nas raízes, que são capazes de transformar o nitrogênio (N) atmosférico em um composto assimilável pelas plantas, fazendo com que haja uma menor utilização de fertilizantes nitrogenados, consequentemente diminuindo os custos de produção e dos danos ambientais (AMBROSANO et al., 2018; KARYOTI et al., 2018; LUNA et al., 2019).

Segundo Souza et al., 2019, as fabáceas do gênero *Crotalaria* auxiliam na diminuição da supressão dos macronutrientes, uma vez que o nitrogênio (N) fornecido por elas está na forma orgânica, o que diminui a perda por volatilização, resultando em aporte para a cultura subsequente.

2.3. Características dos adubos verdes estudados

2.3.1. *Crotalaria juncea*

A *Crotalaria juncea* L. é uma planta anual, ereta, arbustiva, de crescimento rápido e determinado que produz elevada fitomassa em pouco tempo (Figura 1). É eficiente na supressão de ervas daninhas e na fixação biológica de nitrogênio (FBN); sendo considerada “má” hospedeira de nematoides-formadores-de-galhas, dificultando assim a proliferação dos mesmos (ARAÚJO et al., 2018; WUTKE et al., 2014).

Figura 1. *Crotalaria juncea* L.

Fonte: Fabrício Rossi

É uma espécie de clima tropical bem adaptada aos solos de textura tanto arenosa quanto argilosa, de média e baixa fertilidade (TEODORO; CASTRO; MAGALHÃES, 2018; WUTKE et al., 2014).

A *C. juncea* possui sistema radicular pivotante e profundo, o que contribui com a melhoria da infiltração de água, da ciclagem de nutrientes e da capacidade de fixação de nitrogênio (N) (SOUZA et al., 2019).

Com relação ao fotoperíodo, a *C. juncea* é considerada uma cultura de dias curtos, o que faz com que seja necessário o uso de estratégias agronômicas com relação a localidade e época de semeadura (AMABILE; FANCELLI; CARVALHO, 2000; PEREIRA et al., 2005).

O cultivo da *C. juncea* em consorciação, rotação e sucessão é muito estudado, obtendo resultados positivos no aumento da produção, controle de ervas daninhas e diminuição do uso de fertilizantes nitrogenados em diferentes culturas: milho (KAPPES et al., 2015; RUGARE; PIETERSE; MABASA, 2019; SANTOS et al., 2010; WUTKE et al., 2014), trigo (LANGE et al., 2009; WUTKE et al., 2014), maracujá (DANTAS et al., 2019), pimentão (TIVELLI et al., 2013), cana-de-açúcar (DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008; WUTKE et al., 2014), café (ARAUJO et al., 2013; WUTKE et al., 2014).

2.3.2. *Crotalaria ochroleuca*

A *Crotalaria ochroleuca* L. é uma fabácea anual, de crescimento determinado, com caule ereto e semi-lenhoso, ciclo intermediário, bem adaptada a solos com baixa fertilidade (Figura 2) e com alto potencial de incorporação de nitrogênio ao sistema (COTRIM et al., 2019; PACHECO et al., 2015; TEODORO; CASTRO; MAGALHÃES, 2018).

Figura 2. *Crotalaria ochroleuca* L.

Fonte: Fabrício Rossi

É considerada uma planta rústica, má hospedeira de nematoides, com raízes profundas e eficientes na ruptura das camadas mais adensadas do solo, tolerante ao estresse hídrico e sensível ao fotoperíodo, uma vez que com o encurtamento dos dias começa a florescer (BERTÉ

et al., 2010; COTRIM et al., 2019; MASCARENHAS; WUTKE, 2014; PACHECO et al., 2015).

A *C. ochroleuca* é normalmente cultivada em consórcio, rotação e sucessão com várias culturas, como soja, milho, cana-de-açúcar (PACHECO et al., 2015; RUGARE; PIETERSE; MABASA, 2019).

2.3.3. *Crotalaria spectabilis*

A *Crotalaria spectabilis* Roth. é originária das Américas do Norte e do Sul; sendo também conhecida como guizo-de-cascavel e chocalho de cascavel (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

É uma leguminosa anual, arbustiva, de primavera-verão, ciclo curto, desenvolvimento inicial lento (Figura 3), com raiz pivotante profunda sendo eficaz na descompactação de solos, tida como má hospedeira de nematoides e de grande capacidade de fixação de nitrogênio (PACHECO et al., 2015; TEODORO; CASTRO; MAGALHÃES, 2018; TEODORO et al., 2011).

Figura 3. *Crotalaria spectabilis* Roth.

Fonte: Fabrício Rossi

A *C. spectabilis* pode ser cultivada em consórcio com culturas de frutíferas ou em cultivo exclusivo tanto para produção de fitomassa como para produção/comercialização de sementes (WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014).

2.3.4. *Cajanus cajan* – Guandu IAC Fava-larga

Cajanus cajan L. também conhecido como guandu, feijão-guandu, guandu, andu, é originário da Índia e da África tropical ocidental (Figura 4). Pode ser empregado como cultura protetora e recuperadora de solos degradados, além de alimento para humanos e animais (AMADO et al., 2014).

Figura 4. *Cajanus cajan* – Guandu IAC Fava-larga

Fonte: Fabrício Rossi

É uma fabácea anual, arbustiva, de crescimento inicial lento, que suporta longos períodos de seca e solos com baixa fertilidade, argilosos e arenosos (TEODORO et al., 2018; WUTKE et al., 2014).

O guandu atua como “subsolador biológico”, agindo no rompimento das camadas mais profundas e compactadas, auxiliando na reciclagem dos nutrientes, uma vez que possui um sistema radicular vigoroso e profundo (VARATHARAJAN et al., 2019).

O *Cajanus cajan* pode ser cultivado em rotação, consorciação ou sucessão com várias culturas, tais como arroz, trigo (VARATHARAJAN et al., 2019; WUTKE et al., 2014) milho, algodão, feijão, soja, hortaliças, sorgo, cana-de-açúcar, café (WUTKE et al., 2014) e maracujá (DANTAS et al., 2019).

2.3.5. *Canavalia ensiformis*

Canavalia ensiformis (L.) D.C., também conhecido como feijão-de-porco, é uma fabácea originária da América Central, anual, ereta e herbácea com crescimento inicial lento, sistema radicular profundo (Figura 5) e não apresenta sensibilidade ao fotoperíodo (WUTKE et al., 2014).

Figura 5. *Canavalia ensiformis* (L.) D.C.

Fonte: Fabrício Rossi

O feijão-de-porco é adaptado à diversas condições, suporta o clima seco e árido, altas temperaturas, solos com deficiência de fósforo (P) e sombreamento parcial (TEODORO et al., 2018).

Segundo Andriati et al., (2018) o feijão-de-porco também tem valor medicinal, sendo utilizado como antibiótico e antisséptico, além de possuir antioxidantes e enzimas relacionadas à diabetes tipo II.

Ao contrário das fabáceas do gênero *Crotalaria*, *C. ensiformis* é considerada “boa” hospedeira de nematoides-de-galhas (WUTKE et al., 2014).

É cultivado em consórcio com diversas culturas, tais como milho (SANTOS et al., 2010; WUTKE et al., 2014), cana-de-açúcar (DUARTE JÚNIOR; COELHO, 2008), maracujá (DANTAS et al., 2019).

2.3.6. *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiata

O *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiata é uma poácea (gramínea) de crescimento cespitoso, adaptada a solos de média fertilidade, e possui baixa resistência à seca e ao frio (Figura 6). Suas folhas possuem pouca ou nenhuma pilosidade, enquanto que as bainhas ou lígulas são densamente pilosas, variando de acordo com a idade das plantas (COSTA et al., 2004; LUZ et al., 2002).

Figura 6. *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiata

Fonte: Fabrício Rossi

Teve sua origem na linhagem K-187-B, proveniente da Costa do Marfim (África), sendo trazido para o Brasil no final da década de 1970 (PEDREIRA; PEDREIRA; LARA, 2015).

É muito utilizado para alimentação tanto de bovinos, bubalinos, caprinos e ovinos; além de poder ser usado no consórcio com diversas fabáceas (COSTA et al., 2004).

2.4. Produção de fitomassa dos adubos verdes

A produção de fitomassa está diretamente relacionada ao aporte de nutrientes ao solo, seja pela fixação biológica do nitrogênio, seja pela reciclagem de nutrientes (BREDEMEIER et al., 2013; HATFIELD; PRUEGER, 2010). Deste modo, estimar a produção dos adubos verdes permite o planejamento do manejo correto da fertilidade do solo, otimizando a produção da cultura em sucessão. Os índices de vegetação são ferramentas que possibilitam esta

estimativa. Entre eles, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, conhecido pela sigla em inglês NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), tem sido amplamente utilizado (POVH et al., 2008; STAMATIADIS et al., 2010; GROHS et al., 2011; KAPP JUNIOR; GUIMARÃES, CAIRES, 2016).

2.5. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Os índices vegetativos foram desenvolvidos visando fornecer informações sobre os parâmetros agrônômicos e limitantes das culturas, como índice de área foliar, teor de clorofila, porcentagem de cobertura do dossel, produção de biomassa (ZERBATO et al., 2016). Eles são compostos pela combinação da refletância de dois ou mais comprimentos de onda (HATFIELD; PRUEGER, 2010).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*) foi proposto por Rouse et al. (1974), objetivando de maneira específica quantificar a biomassa acumulada e qualificar a vitalidade de determinada vegetação. Também é utilizado para avaliar a quantidade de clorofila e a absorção de energia de determinada planta ou de seu dossel (SHARMA et al., 2015; STAMATIADIS et al., 2010; ZANZARINI et al., 2013).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada é calculado pela diferença entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e vermelho do espectro visível (Red), normalizado pela soma de ambas (Equação 1) (ZANZARINI et al., 2013).

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR: Refletância no infravermelho próximo

Red: Refletância no vermelho próximo

O valor do NDVI varia entre -1 e +1. Como a maior absorção da luz vermelha é efetivada pelas plantas verdes que refletem a maior parte da luz infravermelha, valores negativos estão associados à água; valores positivos perto de zero representam o solo exposto, enquanto os valores mais próximos de 1 indicam maior vigor da planta (Figura 7) (AQUINO;

OLIVEIRA, 2012; GROHS et al., 2009, GROHS et al., 2011; POVH et al., 2008; STAMATIADIS et al., 2010; ZANZARINI et al., 2013).

Figura 7. Curva característica da refletância espectral da vegetação

Fonte: Própria autoria

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada vem sendo estudado em diversas culturas e para diferentes identificações agronômicas: trigo (ARANGUREN; CASTELLÓN; AIZPURUA, 2018; BREDEMEIER et al., 2013; GROHS et al., 2009, 2011; KAPP JUNIOR; GUIMARÃES; CAIRES, 2016; KUMAR et al., 2016; LIU et al., 2018; POVH et al., 2008), triticales (POVH et al., 2008), cevada (GROHS et al., 2009; POVH et al., 2008), milho (POVH et al., 2008), algodão (MOTOMIYA; MOLIN; CHIAVEGATO, 2009), cana-de-açúcar (AMARAL; MOLIN, 2011; ZANZARINI et al., 2013) e uva (STAMATIADIS et al., 2010).

Quanto maior o valor do NDVI, mais vigorosa é a cultura (GROHS et al., 2009).

Segundo Aranguren; Castellón; Aizpurua (2018) o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada tem sido um dos métodos mais utilizado na atualidade, uma vez que ele é capaz de condensar as informações espectrais, apontando espaços de solo exposto, de dossel parcialmente/completamente fechado, de resposta à adubação, entre outros, facilitando assim a criação de zonas de manejo.

Todavia, o NDVI também possui fatores limitantes. Quando há uma grande cobertura do solo com a vegetação, ocorre um pico de absorção na região vermelha do espectro eletromagnético, fazendo com que o NDVI se torne imperceptível às alterações de fitomassa. No momento em que o valor do NDVI se torna alto, a discrepância na produtividade inferida nesse determinado valor pode igualmente ser alta, principalmente quando a cultura é de porte ereto e cresce rapidamente nos estádios iniciais (MARTINS et al., 2018).

Por outro lado, quando a cultura demora a se desenvolver, há uma grande influência do solo exposto e de falhas na emergência quando o índice é calculado, o que dificulta a precisão da produtividade (PRADHAN et al., 2018).

O NDVI é um índice vegetativo que pode ser obtido por imagens de satélite (ZANZARINI et al., 2013), por câmera multiespectral (SIMÕES et al., 2015), que pode ou não ser acoplada a aeronave remotamente pilotada (ARP) ou por sensor óptico. Os sensores ópticos medem a quantidade de luz refletida pelo dossel da cultura e convertem o sinal luminoso em saída elétrica. Eles podem ser passivos ou ativos, dependendo da fonte de luz que utilizam. Os sensores passivos utilizam a radiação solar como fonte luminosa, enquanto que os ativos possuem componentes emissores de luz (PRADHAN et al., 2018), como é o caso do GreenSeeker®.

2.6. GreenSeeker®

O GreenSeeker® foi desenvolvido na década de 1990 pela Universidade de Oklahoma nos Estados Unidos (GROHS et al., 2009).

É um sensor óptico ativo que funciona emitindo luz nos comprimentos de onda do espectro visível, centrado no vermelho (650 ± 10 nm), e no infravermelho próximo (770 ± 15 nm), e calculando através da refletância das plantas o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (KAPP JUNIOR; GUIMARÃES; CAIRES, 2016; MOTOMIYA; MOLIN; CHIAVEGATO, 2009; STAMATIADIS et al., 2010).

A refletância no infravermelho próximo estima o acúmulo de biomassa e o estágio de desenvolvimento da cultura, a biomassa vegetal fotossinteticamente ativa (ARANGUREN; CASTELLÓN; AIZPURUA, 2018), teor de clorofila nas folhas e o potencial produtivo das culturas (BREDEMEIER et al., 2013; GROHS et al., 2011; KAPP JUNIOR; GUIMARÃES; CAIRES, 2016).

Ao ser ligado, o sensor emite pulsos curtos de luz vermelha e infravermelha, e em seguida mede a quantidade de cada um que é refletida de volta. O sensor indica através da intensidade relativa da luz detectada a densidade da folhagem (Figura 8) (“GreenSeeker® Handheld Crop Sensor Quick Reference Card”).

Figura 8. Sensor óptico ativo GreenSeeker®

Fonte: Trimble

Para efetuar a leitura do NDVI, o sensor deve ficar a uma distância aproximada de 60 a 100 cm da cultura a ser avaliada (AQUINO; OLIVEIRA, 2012; GROHS et al., 2009; MOTOMIYA; MOLIN; CHIAVEGATO, 2009).

Segundo Motomiya; Molin; Chiavegato (2009) esse instrumento é de grande relevância para identificações agronômicas, uma vez que utiliza um método rápido, eficaz e não destrutivo de análise, possibilitando leituras em tempo real de diversas culturas.

O GreenSeeker[®] é capaz de diferenciar nuances de cores, que podem indicar a resposta de alguns nutrientes – principalmente o nitrogênio (ARANGUREN; CASTELLÓN; AIZPURUA, 2018; GROHS et al., 2009; KAPP JUNIOR; GUIMARÃES; CAIRES, 2016; MOTOMIYA; MOLIN; CHIAVEGATO, 2009; YUN et al., 2015), a fase de desenvolvimento, variação no dossel da cultura (YUN et al., 2015; ZANZARINI et al., 2013), estresse hídrico (CICEK et al., 2010; ZANZARINI et al., 2013), identificação de pragas e estimativa de produção (POVH et al., 2008; RAUN et al., 2005; YUN et al., 2015).

Alguns modelos também são capazes de efetuar o cálculo de outros índices de vegetação (CICEK et al., 2010; KAPP JUNIOR; GUIMARÃES; CAIRES, 2016; YUN et al., 2015; ZANZARINI et al., 2013).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O experimento foi conduzido na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP), localizada no município de Pirassununga – SP, com altitude de 627 metros, latitude de 21° 59' S e longitude 47° 25' W em uma área da Prefeitura do Campus USP “Fernando Costa” em reforma de pastagem, no período de 07/12/2018 a 15/03/2019. O solo da área experimental é classificado como Latossolo vermelho distrófico (EMBRAPA, 2018).

O clima da região é do tipo Cwa de acordo com a classificação Köppen, subtropical úmido, com temperatura média anual de 20,6°C e precipitação pluviométrica média anual de 1238 mm.

3.2. Dados climáticos

Os valores das temperaturas médias, máximas e mínimas, da umidade relativa do ar, e da precipitação acumulada foram obtidos da Estação Meteorológica da USP - Campus Pirassununga (Figura 9) e organizados de acordo com a avaliação dos adubos verdes.

Figura 9. Temperaturas mínimas, máximas e médias (°C), precipitação acumulada e umidade relativa do ar (%) registradas até 90 dias após emergência (DAE) dos adubos verdes. Emergência: período da semeadura (03 de dezembro) até emergência (18 de dezembro).

Fonte: <http://www.agrariasusp.com.br/agrariasusp01/estacao.html>

As temperaturas médias variaram de 20,5 a 25,8°C, e a precipitação acumulada da semeadura até os 90 dias após emergência (DAE) foi de 508,6 mm, favorecendo o desenvolvimento dos adubos verdes.

3.3. Delineamento experimental

O delineamento experimental foi em blocos casualizados com parcelas subdivididas; sendo a parcela composta pelos seis adubos verdes, a saber: *Crotalaria juncea* L. cv. IAC-KR1 (crotalária-júncea), *Crotalaria spectabilis* Roth. Cv. ‘comum’ (crotalária-espectábilis), *Crotalaria ochroleuca* L. cv. ‘comum’ (crotalária-ochroleuca), *Cajanus cajan* L. cv. IAC fava-larga (guandu fava-larga), *Canavalia ensiformis* (L.) D.C. (feijão-de-porco) e *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiatã (capim tobiatã), e a subparcela pelos tempos de avaliação da fitomassa (30, 40, 50, 60, 70 e 90 dias após emergência - DAE), com quatro repetições.

Cada parcela tinha 60 m² (6 x 10), espaçados de 1m entre si, com um corredor central (Figura 10).

Figura 10. Delineamento experimental em blocos ao acaso. Imagem obtida em 21 de janeiro de 2019

Legenda: CJ = *Crotalaria juncea*; CS = *Crotalaria spectabilis*; CO = *Crotalaria ochroleuca*; GFL = *Cajanus cajan* (guandu fava-larga); FP = *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco) e CT = *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiatã (capim tobiatã)

Fonte: Fabrício Rossi

3.4. Preparo do solo, calagem, adubação e semeadura

Anteriormente a realização do experimento, foi feita análise química do solo, no Laboratório de Ciências Agrárias do Departamento de Zootecnia da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – FZEA/USP. O solo foi amostrado na camada 0-0,20 m e procedeu-se análise química segundo metodologia proposta por Raij et al., (2001), sendo os resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo na camada 0-0,20m

pH	P	S	K	Ca	Mg	H + Al	M.O.	C.T.
CaCl ₂	-- (mg dm ⁻³) --			(mmolc dm ⁻³)			(g kg ⁻¹)	
5,5	26	8	3,9	35	10	31	18	10,6
SB	CTC	V	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
-- (mmolc dm ⁻³) --		(%)		(mg.dm ⁻³)				
49	80	61	0,12	2,6	11	7,6	1,2	

O preparo do solo foi realizado de maneira convencional, com aração e gradagem. Anteriormente a gradagem foi aplicado calcário dolomítico visando elevar a saturação por bases à 70%. Antes da semeadura foi realizada a adubação com 25 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de termofosfato magnésiano (Yoorin Master®) e 30 Kg ha⁻¹ de K₂O, na forma de cloreto de potássio, segundo recomendações de Raij et al. (1996). Posteriormente, no dia 07 dezembro de 2018, houve a semeadura das parcelas com os adubos verdes, sendo realizada manualmente e a lanço, com as seguintes densidades de semente por parcela (60 m²): *Crotalaria juncea* = 240 g, *Crotalaria spectabilis* = 150g, *Crotalaria ochroleuca* = 120g, *Canavalia ensiformis* = 840g e *Cajanus cajan* = 420g (CALEGARI; CARLOS, 2014). Em seguida foi passada a grade para incorporação das sementes.

Convém destacar que o capim tobiatã fora anteriormente cultivado na área, sendo, portanto, neste experimento, oriundo do banco de sementes existente no solo, haja vista que a *Crotalaria breviflora* (crotalaria-breviflora) semeada nas parcelas apresentou baixa emergência e permitiu a ocupação natural pelo capim tobiatã.

As capinas ocorreram conforme necessidade, de modo a permitir o melhor desenvolvimento das culturas.

Os adubos verdes foram conduzidos durante a fase vegetativa – até os 90 DAE (dias após emergência). Aos 90 DAE a *C. spectabilis*, a *C. ensiformis* já estavam florescidas, e a *C. juncea* estava em início de florescimento.

3.5. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

Para obter o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index*), os dados foram coletados duas vezes por semana, utilizando o sensor óptico ativo *GreenSeeker*[®]. O instrumento foi posicionado a uma altura média de 0,60 m da cultura, como recomendado no manual, em seguida o gatilho foi acionado, o valor do NDVI foi exibido no leitor e anotado em uma planilha. Em cada parcela, foram coletados 18 valores, em seguida foi feita uma média desses valores para obtenção do NDVI. Foi realizado o mesmo caminhar em todas as parcelas, em todas as avaliações.

Nas últimas avaliações realizadas nos adubos verdes mais altos, procurou-se manter um mínimo de 0,30 m do dossel, assim sendo, a *Crotalaria juncea* somente foi avaliada até os 60 dias após emergência (DAE).

3.6. Produção de fitomassa dos adubos verdes

Em relação à produção de fitomassa (massa fresca e seca da parte aérea), os adubos verdes foram avaliados em seis épocas: 30, 40, 50, 60, 70 e 90 dias após emergência (DAE). As avaliações ocorreram nas subparcelas: nos dois primeiros cortes (30 e 40 DAE) foi avaliado 0,5 m²; nos próximos dois cortes (50 e 60 DAE) foi avaliado 1m² e, nos últimos dois cortes (70 e 90 DAE) foram avaliados 2 m² por adubo verde.

As plantas foram cortadas rente ao solo e pesadas para a determinação da massa fresca; sendo em seguida, retirada uma amostra de cada parcela para a determinação da massa seca. O material foi acondicionado em uma estufa com circulação de ar forçada, à 65°C por 72 horas. Em seguida, a amostra foi novamente pesada e a matéria seca determinada.

Figura 11. Adubos verdes aos 90 dias após emergência: (a) feijão-de-porco; (b) crotalária-espectábilis; (c) crotalária-ochroleuca

Fonte: Fabrício Rossi

3.7. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância (Anova) e feita análise de regressão para médias repetidas no tempo e teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade para comparação entre os adubos verdes, utilizando o software estatístico SISVAR 5.3 (FERREIRA, 2011).

Os dados de massa fresca e seca da parte aérea dos adubos verdes foram transformados em raiz quadrada de X, visando atender as pressuposições do modelo matemático. Os valores de NDVI foram correlacionados com a massa fresca e seca (fitomassa) dos adubos pelo coeficiente da correlação de Pearson, ou r de Pearson, que mede o grau da correlação linear entre duas variáveis quantitativas. É um índice adimensional com valores situados entre -1,0 e 1,0. Para fim de classificação, adotou-se os seguintes critérios: correlação perfeita ($r=1$), forte ($0,75 \leq r < 1$), moderada ($0,5 \leq r < 0,75$), fraca ($r < 0,5$) e inexistente ($r=0$) (COSTA, 2012).

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

4.1. Produção de fitomassa dos adubos verdes

Os resultados de fitomassa (massa fresca e seca) não apresentaram diferença ao longo do tempo. Aos 90 dias após emergência (DAE) dos adubos verdes a maior fitomassa foi obtida pela *C. ochroleuca* (46,02 t ha⁻¹). A análise da massa fresca média obtida agrupou os adubos verdes em dois grupos, sendo que a *C. ensiformis* (feijão-de-porco), *C. ochroleuca* e *C. juncea* apresentaram os maiores valores e *C. cajan*, *C. spectabilis* e *P. maximum* apresentaram os menores valores (Tabela 2).

Com relação a massa seca (MSPA), a análise da média obtida, dispôs os adubos verdes em dois grupos, onde a *C. ensiformis* (feijão-de-porco), *C. ochroleuca*, *C. juncea* e *C. cajan* apresentaram os maiores valores e *C. spectabilis* e *P. maximum* apresentaram os menores valores (Tabela 2).

Tabela 2. Massa fresca (MFPA) e seca da parte aérea (MSPA) dos adubos verdes (t ha⁻¹) avaliados ao longo do tempo (DAE – dias após emergência)

Adubo verde	Dias após emergência (DAE)						Média
	30	40	50	60	70	90	
----- MFPA (t ha ⁻¹) -----							
<i>Canavalia ensiformis</i>	12,80	19,40	31,50	37,08	37,69	37,83	29,38 a
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	6,91	16,04	18,10	30,88	41,23	46,02	26,53 a
<i>Crotalaria juncea</i>	8,90	21,88	23,13	30,93	36,73	35,02	26,10 a
<i>Cajanus cajan</i>	5,23	12,83	18,00	29,00	29,63	32,60	21,22 b
<i>Crotalaria spectabilis</i>	6,25	16,07	19,97	24,93	29,62	28,20	20,84 b
<i>Panicum maximum</i>	3,83	6,68	11,30	21,03	30,43	34,40	17,94 b
C.V. ¹ (%) = 28,75	C.V. ² (%) = 19,93						
----- MSPA (t ha ⁻¹) -----							
<i>Canavalia ensiformis</i>	1,99	2,90	5,10	6,86	6,39	7,49	5,13 a
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	0,90	1,96	2,39	4,49	6,72	9,17	4,27 a
<i>Crotalaria juncea</i>	1,27	3,32	4,26	6,68	8,47	7,72	5,29 a
<i>Cajanus cajan</i>	1,06	2,47	3,89	6,46	7,08	7,53	4,75 a
<i>Crotalaria spectabilis</i>	0,81	1,96	2,64	3,67	4,46	6,27	3,30 b
<i>Panicum maximum</i>	0,60	0,98	1,78	3,60	5,11	8,15	3,37 b
C.V. ¹ (%) = 18,57	C.V. ² (%) = 16,69						

Médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Scott-Knott (p<0,05) para cada avaliação (DAE). C.V.¹ = coeficiente de variação das avaliações nos tempos; C.V.² = coeficiente de variação dos adubos verdes.

Fonte: Própria autoria

De acordo com Wutke; Calegari; Wildner (2014), a *C. juncea* pode produzir de 15 a 60 t ha⁻¹, *C. ochroleuca* e *C. spectabilis* de 20 a 30 t ha⁻¹, *C. ensiformis* de 20 a 25 t ha⁻¹ e *C. cajan* de 15 a 30 t ha⁻¹ de massa verde dependendo do clima, tipo de solo, umidade, temperatura do ambiente.

Em relação a massa seca, segundo Wutke; Calegari; Wildner (2014), *C. juncea* pode fornecer de 4 a 15 t ha⁻¹, *C. ochroleuca* de 7 a 10 t ha⁻¹, *C. spectabilis* de 4 a 6 t ha⁻¹, *C. ensiformis* de 5 a 8 t ha⁻¹ e *C. cajan* de 5 a 18 t ha⁻¹.

Aos 75 dias após emergência (DAE), Dourado; Silva; Bolonhezi, (2001) encontraram 31,32 t ha⁻¹ para massa fresca da parte aérea da *C. juncea* e aos 90 DAE, 32,93 t ha⁻¹, diferindo dos valores encontrados no experimento, no qual aos 70 DAE a *C. juncea* apresentou 36,73 t ha⁻¹ de massa fresca, e 35,02 t ha⁻¹ aos 90 DAE, isso pode ter ocorrido devido a época de plantio, visto que a *C. juncea* responde ao fotoperíodo, e neste experimento foi plantada tardiamente.

Aos 50 dias após emergência (DAE), Ribas et al., (2003) encontraram valores semelhantes para a produção de fitomassa da *C. juncea*, corroborando com os resultados obtidos.

Em experimento com a *C. juncea*, Dourado; Silva; Bolonhezi, (2001) encontraram para massa seca, valores de 8,84 t ha⁻¹ aos 75 DAE e 9,74 t ha⁻¹ aos 90 DAE, corroborando com os resultados obtidos aos 70 DAE 8,47 t ha⁻¹ e diferindo dos encontrados aos 90 DAE neste experimento, onde a *C. juncea* produziu 7,72 t ha⁻¹.

Fontanétti et al. (2006) encontraram valores maiores para a matéria verde e seca da *C. juncea* aos 90 DAE: 39,33 t ha⁻¹ e 12,75 t ha⁻¹, respectivamente. E valores próximos para *C. ensiformis*.

Fabricio et al. (2010) obtiveram valores de produção de biomassa mais elevados para o capim tobiatã aos 40, 50 e 60 dias após emergência 1,98; 2,83; 3,03 t ha⁻¹, respectivamente, também em área de rebrota. Isso possivelmente ocorreu devido a diferença na época de plantio e nas características dos solos.

Aos 150 dias após a semeadura, Silveira et al. (2010) alcançaram valores médios anuais de 3,6 t ha⁻¹ para o guandu e 8,2 t ha⁻¹ para o capim mombaça de produção de matéria seca.

Com relação ao manejo dos adubos verdes, Teodoro et al. (2011) obtiveram duração dos ciclos vegetativos da *C. juncea*, *C. spectabilis* e *C. ensiformis* análogos aos encontrados neste experimento.

4.2. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

Analizando o comportamento dos adubos verdes em relação ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) ao longo do tempo (DAE) foi possível observar um comportamento quadrático e coeficientes de determinação (R^2) acima de 94% (Figura 12).

Figura 12. Regressões de ajuste quadrático dos adubos verdes do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) ao longo do tempo (dias após emergência - DAE)

Fonte: Própria autoria

A partir das avaliações foi possível observar que o NDVI máximo das culturas estudadas ficou dentro do intervalo de 0,77 e 0,91, entre 55 e 69 dias após emergência (DAE). O NDVI aumentou ao longo do tempo, atingindo seu valor máximo, e depois começou a decrescer. Isso acontece por conta da senescência das plantas, que faz com que a planta

amareleça e perca as folhas (PRADHAN et al., 2018). Somente a *C. juncea*, que em função da sua altura foi possível ser analisada apenas até os 60 DAE, não atingiu seu valor máximo de NDVI no período avaliado.

De acordo com a densidade de semeadura adotada, com o tipo de solo, com as condições climáticas, a *Crotalaria juncea* atingiu o NDVI máximo (estimado) de 0,77, aos 65 dias após emergência (DAE). Já a *Crotalaria ochroleuca* obteve aos 55 DAE o máximo valor de NDVI = 0,86.

A *Crotalaria spectabilis* alcançou o valor máximo aos 66 DAE de NDVI = 0,78; *Panicum maximum* aos 69 DAE, NDVI = 0,83; *Canavalia ensiformis* aos 57 DAE, NDVI = 0,91 e *Cajanus cajan* aos 59 DAE, NDVI = 0,79 (Tabela 3).

Dentre os adubos verdes estudados, a *C. ensiformes* apresenta rápido desenvolvimento e hábito de crescimento herbáceo/ereto (CALEGARI; CARLOS, 2014). Desta maneira, foi o adubo verde que atingiu o valor mais alto de NDVI, em função da maior cobertura do solo.

Segundo Povh et al. (2008) o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), medido por sensor ótico ativo, evidenciou elevado potencial de manejo do nitrogênio (N) em culturas de cereais.

Tabela 3. Dias após emergência máximo (DAE máx) e índice de vegetação por diferença normalizada máximo (NDVI máx)

Adubo verde	DAE máx ¹	NDVI máx ¹
<i>Panicum maximum</i>	69	0,83
<i>Crotalaria spectabilis</i>	66	0,78
<i>Crotalaria juncea</i>	65	0,77
<i>Cajanus cajan</i>	59	0,79
<i>Canavalia ensiformis</i>	57	0,91
<i>Crotalaria ochroleuca</i>	55	0,86

¹ Valores calculados pela curva de regressão de segunda ordem

Fonte: Própria autoria

4.3. Correlação entre produção de fitomassa e NDVI

A correlação de Pearson (r) entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e a massa fresca da parte aérea (MFPA) aos 60 dias após emergência (DAE) dos adubos verdes variou de $r = 0,66$ (*C. juncea*) a $r = 0,88$ (*C. spectabilis*) e aos 70 DAE, entre $r = 0,67$ (*C. ochroleuca*) a $r = 0,87$ (*C. spectabilis*) (Figura 13). A *C. juncea* não foi avaliada em relação

ao NDVI aos 70 DAE, pois devido à sua altura, inviabilizou-se o uso do GreenSeeker®, não sendo possível desta maneira calcular o r de Pearson.

Figura 13. Correlação de Pearson (r) da Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) dos adubos verdes, respectivamente aos 60 e 70 dias após emergência (DAE)

Fonte: Própria autoria

Aos 60 dias após emergência (DAE), a *C. juncea* apresentou $r = 0,66$. Segundo Costa (2012), todos os coeficientes da correlação de Pearson (r) apresentaram ou forte ($0,75 \leq r < 1$) ou moderada correlação ($0,5 \leq r < 0,75$). Aos 60 e 70 dias após emergência (DAE), *C. ochroleuca* apresentou $r = 0,82$ (forte) e $r = 0,67$ (moderada), respectivamente. Convém salientar que *C. ochroleuca* foi o adubo verde que apresentou mais antecipadamente o valor máximo de NDVI (0,86), aos 55 DAE.

A *C. spectabilis*, tanto aos 60 DAE ($r = 0,88$), quanto aos 70 DAE ($r = 0,87$), apresentou forte correlação. Aos 70 DAE a *C. spectabilis* já apresentava-se na fase reprodutiva, com início do florescimento. *P. maximum* apresentou $r = 0,87$ (60 DAE) e $r = 0,84$ (70 DAE), ambas correlações fortes. Aos 60 e 70 dias após emergência (DAE), *C. ensiformis* apresentou $r = 0,67$ e $r = 0,72$, respectivamente, ambas correlações moderadas. *C. cajan*, assim como *C. spectabilis* e *P. maximum*, apresentaram forte correlação até 70 DAE, $r = 0,79$ (60 DAE) e $r = 0,81$ (70 DAE).

Yun et al. (2015) em um estudo com ervilhaca peluda (*Vicia villosa*), demonstraram que os valores de produção de biomassa são linearmente proporcionais ao NDVI, com coeficiente de determinação (R^2) de 0,83.

Com relação a correlação de Pearson (r) para NDVI e massa seca da parte aérea (MSPA), aos 60 DAE, o índice variou entre $r = 0,63$ (*C. ensiformis*) a $r = 0,87$ (*P. maximum*), e aos 70 DAE, variou entre $r = 0,59$ (*C. ochroleuca*) a $r = 0,85$ (*C. spectabilis*) (Figura 14).

Figura 14. Correlação de Pearson (r) da Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) dos adubos verdes, respectivamente aos 60 e 70 dias após emergência (DAE)

Fonte: Própria autoria

Aos 60 dias após emergência (DAE) da mesma maneira que para a correlação da massa fresca, a *C. juncea* ($r = 0,74$) e *C. ensiformis* ($r = 0,63$) apresentaram moderada correlação, enquanto a *C. spectabilis* ($r = 0,84$), *C. ochroleuca* ($r = 0,81$), *P. maximum* ($r = 0,87$) e *C. cajan* ($r = 0,78$) apresentaram forte correlação.

Aos 70 dias após emergência (DAE), a *C. ochroleuca* ($r = 0,59$) e *C. ensiformis* ($r = 0,69$) também apresentaram moderada correlação, ao passo que *C. spectabilis* ($r = 0,85$), *P. maximum* ($r = 0,84$) e *C. cajan* ($r = 0,78$) apresentaram forte correlação.

Grohs et al. (2011) avaliaram a biomassa acumulada com o auxílio de um sensor óptico ativo e a produtividade dos grãos, chegando a duas percentagens de correlação com o NDVI, alta (81%) para a biomassa acumulada e média (48%) para produtividade de grãos, valores já esperados para essa cultura, uma vez que a estimativa da produtividade de grãos com o GreenSeeker® tende a ser significativa em estádios mais avançados.

5. CONCLUSÃO

Os adubos verdes estudados apresentaram desenvolvimento satisfatório no período cultivado, sendo determinado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) ao longo do tempo, com valores máximos obtidos entre 55 e 69 dias, variando de 0,77 a 0,91.

Crotalaria spectabilis, *Panicum maximum* cv. Tobiatã e *Cajanus cajan* apresentaram forte correlação entre o NDVI e a produção de fitomassa (massa fresca e seca da parte aérea) até os 70 dias após emergência e *Canavalia ensiformis* apresentou moderada correlação no mesmo período.

Crotalaria ochroleuca apresentou forte correlação para NDVI e a fitomassa até os 60 DAE, e *Crotalaria juncea* apresentou moderada correlação no mesmo período.

A utilização do sensor óptico ativo, utilizado na obtenção do índice vegetativo NDVI dos adubos verdes, ao longo do tempo, permite estimar sua produção, com precisão variando de acordo com a espécie.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; CERETTA, C. A. Decomposição e liberação de nutrientes dos resíduos culturais de adubos verdes. *In*: LIMA FILHO, O. F de; AMBROSANO, J. E.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. vol. 1, cap.6, p.225-264.
- ALBUQUERQUE, A. W. DE; SANTOS, J. R.; FILHO, G. M.; REIS, L. S. Plantas de cobertura e adubação nitrogenada na produção de milho em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 721–726, 2013.
- AMABILE, R. F.; FANCELLI, A. L.; CARVALHO, A. M. de. Comportamento de espécies de adubos verdes em diferentes épocas de semeadura e espaçamentos na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 47–54, 2000.
- AMADO, T. J. C.; FIORIN, J. E.; ARNS, U.; NICOLOSO, R. da S.; FERREIRA, A. de O. Adubação verde na produção de grãos e no sistema de plantio direto. *In*: LIMA FILHO, O. F de; AMBROSANO, J. E.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. vol. 2, cap.16, p.81-125.
- AMARAL, L. R. do; MOLIN, J. P. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 12, p. 1633–1642, dez. 2011.
- AMBROSANO, E. J.; SALGADO, G. C.; OTSUK, I. P.; PRATI, P.; HENRIQUE, C. M.; MELO, P. C. T. DE. Organic cherry tomato yield and quality as affect by intercropping green manure. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 40, n. 1, maio 2018.
- ANDRIATI, N.; ANGGRAHINI, S.; SETYANINGSIH, W.; SOFIANA, I.; PUSPARASI, D. A.; MOSSBERG, F. Physicochemical characterization of jack bean (*Canavalia ensiformis*) tempeh. **Food Research**, v. 2, n. 5, p. 481–485, 2018.

- AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Estudo da dinâmica do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no núcleo de São Raimundo Nonato - PI. **GEOUSP: Espaço e Tempo**, p. 157–168, 2012.
- ARANGUREN, M.; CASTELLÓN, A.; AIZPURUA, A. Topdressing nitrogen recommendation in wheat after applying organic manures: the use of field diagnostic tools. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 110, n. 1, p. 89–103, jan. 2018.
- ARAÚJO, A. V. DE; ARAÚJO, E. F.; AMARO, H. T. R.; SANTOS, R. H. S.; CECON, P. R. Time of harvest and storability of *Crotalaria juncea* L. seeds. **Revista Ciência Agronômica**, v. 49, n. 1, p. 103–111, 2018.
- ARAUJO, J. B. S.; RODRIGUES, M. C.; RODRIGUES, L. B.; SANTOS, R. H. S.; MARTINEZ, H. E. P. Nitrogen fertilization of coffee: organic compost and *Crotalaria juncea* L. **Revista Ceres**, v. 60, n. 6, p. 842–851, dez. 2013.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Recomendações técnicas para o uso da adubação verde em solos de tabuleiros costeiros. **Circular Técnica 19**. Aracaju - SE: 2001.
- BERTÉ, L. N.; KÜHL, J. A.; ENINGER, E. M.; ZOZ, T.; CASTAGNARA, D. D.; PEREIRA, V. A. S.; OLIVEIRA, P. S. R. DE; JÚNIOR, J. B. D.; COSTA, A. C. T. DA. Características produtivas do milho crioulo e produção de fitomassa no consórcio com diferentes plantas de cobertura. **XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Goiânia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo**, p. 1253–1258, 2010.
- BREDEMEIER, C.; VARIANI, C.; ALMEIDA, D.; ROSA, A. T. Estimativa do potencial produtivo em trigo utilizando sensor óptico ativo para adubação nitrogenada em taxa variável. **Ciência Rural**, v. 43, n. 7, p. 1147–1154, jun. 2013.
- BREDEMEIER, C.; VIAN, A. L.; PIRES, J. L. F. Aplicação de nitrogênio em tempo real : modelos e aplicações. In: SANTI, A. L.; GIOTTO, E.; SEBEM, E.; AMADO, T. J. C. (Eds.). **Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul**. 1. ed. [s.l.] Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul, 2017. p. 137–158.

- CALEGARI, A. Perspectivas e estratégias para a sustentabilidade e o aumento da biodiversidade dos sistemas agrícolas com o uso de adubos verdes. *In*: LIMA FILHO, O. F de; AMBROSANO, J. E.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. vol. 1, cap.1, p.19-36.
- CALEGARI, A; CARLOS, J. A. D. Recomendações de plantio e informações gerais sobre o uso de espécies para adubação verde no Brasil. *In*: LIMA FILHO, O. F de; AMBROSANO, J. E.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. vol. 2, cap.27, p.451-478.
- CICEK, H.; SUNOHARA, M.; WILKES, G.; MCNAIRN, H.; PICK, F.; TOPP, E.; LAPEN, D. R. Using vegetation indices from satellite remote sensing to assess corn and soybean response to controlled tile drainage. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 2, p. 261–270, dez. 2010.
- COLLIER, L. S.; KIKUCHI, F. Y. F. Y.; BENÍCIO, L. P. F.; SOUSA, S. A. DE; SOUZA, S. A. DE. Consórcio e sucessão de milho e feijão-de-porco como alternativa de cultivo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 306–313, jul. 2011.
- COSTA, G. G. de O. Correlação de variáveis. **Curso de estatística inferencial e probabilidades: teoria e prática**. 2012. vol. 1, unidade VIII, p.186-220.
- COSTA, N. DE L.; RODRIGUES, A. N. A.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A.; OLIVEIRA, J. R. DA C. Calagem e adubação para pastagens de *Panicum maximum* cv. Tobiatã em Rondônia. **Recomendações Técnicas 87**. Porto Velho - RO: 2004.
- COTRIM, M. F.; SILVA, J. B. da; LOURENÇO, F. M. dos S.; TEIXEIRA, A. V.; GAVAL, R.; ALVES, C. Z.; CÂNDIDO, A. C. da S.; CAMPOS, C. N. S.; PEREIRA, M. D.; TORRES, S. B.; BACCHETTA, G.; TEODORO, P. E. Studying the link between physiological performance of *Crotalaria ochroleuca* and the distribution of Ca, P, K and S in seeds with X-ray fluorescence. **Plos One**, v. 14, n. 9, set. 2019.

- DANTAS, E. F.; FREITAS, A. D. S. de; LYRA, M. do C. C. P. de; SANTOS, C. E. de R. e S.; CARVALHO NETA, S. J. de C.; SANTANA, A. C. de A.; BEZERRA, R. de V.; SAMPAIO, E. V. de S. Biological fixation, transfer and balance of nitrogen in passion fruit (*Passiflora edulis Sims*) orchard intercropped with different green manure crops. **Australian Journal of Crop Science (AJCS)**, v. 13, n. 3, p. 465–471, 2019.
- DOURADO, M. C.; SILVA, T. R. B. DA; BOLONHEZI, A. C. Matéria seca e produção de grãos de *Crotalaria juncea* L. submetida à poda e adubação fosfatada. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 287–293, 2001.
- DUARTE JÚNIOR, J. B.; COELHO, F. C. Adubos verdes e seus efeitos no rendimento da cana-de-açúcar em sistema de plantio direto. **Bragantia**, v. 67, n. 3, p. 723–732, 2008.
- DWIVEDI, A.; SINGH, ADESH; NARESH, R. K.; KUMAR, M.; KUMAR, V.; BANKOTI, P.; SHARMA, D. K.; THANESHWAR; SINGH, ANOOP; SINGH, O. Towards sustainable intensification of maize (*Zea mays* L.) + legume intercropping systems; experiences; challenges and opportunities in India; a critical review. **Journal of Pure and Applied Microbiology**, v. 10, p. 725–740, mar. 2016.
- FABRICIO, J. A.; BUZETTI, S.; BERGAMASCHINE, A. F.; BENETT, C. G. S. Produtividade e composição bromatológica do capim-tobiatã com adubação NPK. **Acta Scientiarum. Agronomy**, p. 333–337, 2010.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: A computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, vol. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, J. de; GOMES, L. A. A.; ALMEIDA, K. de; MORAES, R. S.G. de; TEIXEIRA, C. M. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 146–150, 2006.
- GAO, S. Effects of long-term application of different green manures on ferric iron reduction in a red paddy soil in Southern China. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 16, n. 4, p. 959–966, 1996.

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

GreenSeeker® Handheld Crop Sensor Quick Reference Card. GreenSeeker®, [s.d]. Disponível em: <http://www.farmworks.com/files/pdf/GreenSeekerHCS/GreenSeekerQRC_91500-00-ENG_Screen.pdf>

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor greenseeker. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 101–112, mar. 2009.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; POLETO, N.; MUNDSTOCK, C. M. Validation of model for wheat yield prediction potential using active optical sensor. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 4, p. 446–449, abr. 2011.

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices. **Remote Sensing**, v. 2, n. 2, p. 562–578, fev. 2010.

KAPP JUNIOR, C.; GUIMARÃES, A. M.; CAIRES, E. F. Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 36, n. 5, p. 886–894, 2016.

KAPPES, C.; GITTI, D. C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. DA C.; TARSITANO, M. A. A. Análise econômica do milho em sucessão a diferentes adubos verdes, manejos do solo e doses de nitrogênio. **Bioscience Journal**, v. 31, n. 1, p. 55–64, 2015.

KARYOTI, A.; BARTZIALIS, D.; SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI, M.; DANALATOS, N. Effects of irrigation and green manure on corn (*Zea mays* L.) biomass and grain yield. **Journal of soil science and plant nutrition**, v. 18, 2018.

- KOEHLER-COLE, K.; BRANDLE, J. R.; FRANCIS, C. A.; SHAPIRO, C. A.; BLANKENSHIP, E. E.; BAENZIGER, P. S. Clover green manure productivity and weed suppression in an organic grain rotation. **Renewable Agriculture and Food Systems**, v. 32, p. 474–483, out. 2017.
- KUMAR, SUNEEL; RÖDER, M. S.; SINGH, R. P.; KUMAR, SUNDEEP; CHAND, R.; JOSHI, A. K.; KUMAR, U. Mapping of spot blotch disease resistance using NDVI as a substitute to visual observation in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Molecular Breeding**, v. 36, n. 7, jul. 2016.
- LANGE, A.; BOLOGNA, I. R.; FARONI, C. E.; TRIVELIN, P. C. O. Aproveitamento pelo trigo do nitrogênio residual da crotalária (*Crotalaria juncea*) e da uréia aplicado ao solo em cultivo precedente. **Ciência Rural**, v. 39, n. 6, p. 1715–1720, 2009.
- LITHOURGIDIS, A.; DORCAS, C.; DAMALAS, C.; VLACHOSTERGIOS, D. Annual Intercrops: An Alternative Pathway for Sustainable Agriculture. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, n. 4, p. 396–410, 2011.
- LIU, L.; YANG, X.; ZHOU, H.; LIU, S.; ZHOU, L.; LI, X.; YANG, J.; HAN, X.; WU, J. Evaluating the utility of solar-induced chlorophyll fluorescence for drought monitoring by comparison with NDVI derived from wheat canopy. **Science of The Total Environment**, v. 625, p. 1208–1217, jun. 2018.
- LUNA, D. V.; LARA-RODRÍGUEZ, D. A.; SÁNCHEZ, A. J.; PRIETO, L. A. D.; SILVESTRE, M. G. V. Tropical legumes as improvers of rangeland and agricultural soils. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, v. 22, n. 1, 2019.
- LUZ, P. H. DE C.; HERLING, V. R.; BRAGA, G. J.; VITTI, G. C.; LIMA, C. G. DE. Tipos e doses de calcário nas características agronômicas de *Panicum maximum* Jacq. cv. Tobiataã em função dos métodos de aplicação. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 155–159, 2002.
- MARTINS, L. M.; NEIRO, E. DA S.; DIAS, A. R.; ROQUE, C. G.; BAIO, F. H. R.; TEODORO, P. E. Cotton vegetation indices under different control methods of ramularia leaf spot. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 6, p. 1706–1713, 2018.

- MASCARENHAS, H. A. A.; WUTKE, E. B. Adubação, nutrição e fatores climáticos limitantes ao desenvolvimento dos adubos verdes. *In*: LIMA FILHO, O. F de; AMBROSANO, J. E.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. vol. 1, cap.5, p.191-224.
- MEDEIROS, E. V. DE; SILVA, A. O.; DUDA, G. P.; SANTOS, U. J. DOS; SOUZA JUNIOR, A. J. DE. The combination of *Arachis pintoi* green manure and natural phosphate improves maize growth, soil microbial community structure and enzymatic activities. **Plant and Soil**, v. 435, n. 1–2, p. 175–185, fev. 2019.
- MOTOMIYA, A. V. DE A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. J. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 137–145, 2009.
- PACHECO, L. P.; MIGUEL, A. S. D. C. S.; SILVA, E. M. B.; SOUZA, E. D. DE; SILVA, F. D. DA. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 4, p. 464–472, 2015.
- PEDREIRA, B. C.; PEDREIRA, C. G. S.; LARA, M. A. S. Leaf age, leaf blade portion and light intensity as determinants of leaf photosynthesis in *Panicum maximum* Jacq. **Grassland Science**, v. 61, n. 1, p. 45–49, jan. 2015.
- PEREIRA, A. J.; GUERRA, J. G. M.; MOREIRA, V. F.; TEIXEIRA, M. G.; URQUIAGA, S.; POLIDORO, J. C.; ESPÍNDOLA, J. A. A. **Desempenho agronômico de *Crotalaria juncea* em diferentes arranjos populacionais e épocas do ano** Comunicado Técnico 82. Seropédica - RJ: 2005.
- PERIN, A.; SANTOS, R. H. S.; URQUIAGA, S.; GUERRA, J. G. M.; CECON, P. R. Produção de fitomassa, acúmulo de nutrientes e fixação biológica de nitrogênio por adubos verdes em cultivo isolado e consorciado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 35–40, jan. 2004.

- POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 8, p. 1075–1083, ago. 2008.
- PRADHAN, S.; SEHGAL, V. K.; BANDYOPADHYAY, K. K.; SAHOO, R. N.; PANIGRAHI, P.; PARIHAR, C. M.; JAT, S. L. Comparison of Vegetation Indices from Two Ground Based Sensors. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 46, n. 2, p. 321–326, fev. 2018.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 285p.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANO, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. 285p. (Boletim Técnico 100).
- RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; STONE, M. L.; MARTIN, K. L.; FREEMAN, K. W.; MULLEN, R. W.; ZHANG, H.; SCHEPERS, J. S.; JOHNSON, G. V. Optical Sensor-Based Algorithm for Crop Nitrogen Fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 36, n. 19–20, p. 2759–2781, 2005.
- RIBAS, R. G. T.; JUNQUEIRA, R. M.; OLIVEIRA, F. L. DE; GUERRA, J. G. M.; ALMEIDA, D. L. DE; RIBEIRO, R. DE L. D. Manejo da Adubação Verde com Crotalária no Consórcio com o Quiabeiro sob Manejo Orgânico. **Comunicado Técnico 59** Seropédica - RJ: 2003.
- ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. Histórico da adubação verde no brasil. *In*: LIMA FILHO, O. F de; AMBROSANO, J. E.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil**. Brasília: Embrapa, 2014. vol. 1, cap.2, p.37-58.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERIN, D. W. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. **Remote Sensing Center Greenbelt, MD**, maio 1974.

- RUGARE, J. T.; PIETERSE, P. J.; MABASA, S. Effect of short-term maize–cover crop rotations on weed emergence, biomass and species composition under conservation agriculture. **South African Journal of Plant and Soil**, 2019.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBREARAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa. 5. ed. [rev. e ampl.] 2018.
- SANTOS, P. A.; SILVA, A. F. DA; CARVALHO, M. A. C. DE; CAIONE, G. Adubos verdes e adubação nitrogenada em cobertura no cultivo do milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v. 9, n. 2, p. 123–134, 2010.
- SARMENTO, J. J. A.; SANTOS, J. J. F. DOS; COSTA, C. C.; BOMFIM, M. P. Agronomic performance of lettuce subjected to green manure with different leguminous species. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 114–118, fev. 2019.
- SHARMA, L.; BU, H.; DENTON, A.; FRANZEN, D. Active-Optical Sensors Using Red NDVI compared to Red Edge NDVI for prediction of corn grain yield in North Dakota, U.S.A. **Sensors**, v. 15, n. 11, p. 27832–27853, nov. 2015.
- SILVA, E. C. da; AMBROSANO, E. J.; SCIVITTARO, W. B.; MURAOKA, T.; BUZETTI, S.; CARVALHO, A. M. de. Adubação verde como fonte de nutrientes às culturas. *In*: LIMA FILHO, O. F de; AMBROSANO, J. E.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. vol. 1, cap.7, p.265-305.
- SILVEIRA, P. M. DA; CUNHA, P. C. R. DA; STONE, L. F.; SANTOS, G. G. DOS. Chemical attributes of a soil cultivated with different cover crops. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 40, n. 3, p. 283–290, jul. 2010.

- SOUZA, R. T. DE; VALADÃO, F. C. DE A.; JÚNIOR, D. D. V.; GUIMARÃES, P. R.; PAULA, V. R. R. DE. Maize-crotalaria intercropping systems. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 4, p. 1455–1467, 2019.
- STAMATIADIS, S.; TASKOS, D.; TSADILA, E.; CHRISTOFIDES, C.; TSADILAS, C.; SCHEPERS, J. S. Comparison of passive and active canopy sensors for the estimation of vine biomass production. **Precision Agriculture**, v. 11, n. 3, p. 306–315, 2010.
- TANI, E.; ABRAHAM, E.; CHACHALIS, D.; TRAVLOS, I. Molecular, Genetic and Agronomic approaches to utilizing pulses as cover crops and green manure into cropping systems. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 6, 2017.
- TEODORO, M. S.; CASTRO, K. N. D. C.; MAGALHÃES, J. A. Assessment of legumes with potential use as green manure in the coastal tablelands of piauí state, Brazil. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 584–592, 2018.
- TEODORO, R. B.; OLIVEIRA, F. L. DE; SILVA, D. M. N. DA; FÁVERO, C.; QUARESMA, M. A. L. Aspectos agronômicos de leguminosas para adubação verde no cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 635–643, 2011.
- TIVELLI, S. W.; KANO, C. C.; PURQUERIO, L. F. V; WUTKE, E. B.; ISHIMURA, I. Desempenho do quiabeiro consorciado com adubos verdes eretos de porte baixo em dois sistemas de cultivo. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 3, p. 483–488, 2013.
- VARATHARAJAN, T.; CHOUDHARY, A. K.; POONIYA, V.; DASS, A.; HARISH, M. N. Integrated crop management practices for enhancing productivity, profitability, production-efficiency and monetary-efficiency of pigeonpea (*Cajanus cajan*) in Indo-Gangetic plains region. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v. 89, n. 3, p. 559–563, 2019.
- WUTKE, E. B.; CALEGARI, A.; WILDNER, L. do P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. *In*: LIMA FILHO, O. F de; AMBROSANO, J. E.; ROSSI, F.; CARLOS, J. A. D. **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos e prática**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. vol. 1, cap.3, p.59-167.

YUN, H.; KIM, H-J.; PARK, K. D.; LEE, K. D.; HONG, S. Y. Use of na UAV for Biomass Monitoring of Hairy Vetch. **Annual International Meeting Sponsored by ASABE**, New Orleans, Louisiana. jul. 2015.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 6, p. 608–614, 2013.

ZERBATO, C. et al. Agronomic characteristics associated with the normalized difference vegetation index (NDVI) in the peanut crop. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 5, p. 758–764, 2016.