

PROTOTIPAGEM E CALIBRAÇÃO DE CLOROFILÔMETRO DE BAIXO CUSTO COMPOSTO POR LDR'S PARA DETERMINAÇÃO DE NDVI

MARIANA DIAS MENESES¹, WELINGTON GONZAGA DO VALE², EDSON PATTO PACHECO³, ADILSON MACHAFO ENES⁴, PATRICIA AZEVEDO CASTELO BRANCO DO VALE⁵

¹ Pós graduanda em Ciência do Solo, agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV/Unesp, Via de acesso Professor Paulo Donato Castellane Castellane S/N, 14884-900, Jaboticabal, São Paulo, Brasil, marianadiasm19@gmail.com.

² Professor doutor, engenharia agrícola, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon Jardim s/n, Rosa Elze, 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, Brasil, valewg@gmail.com.

³ Pesquisador Embrapa Tabuleiros Costeiros, Av. Beira Mar, 3250, Jardins, 49025-040, Aracaju, Sergipe, Brasil, edson.patto@embrapa.br.

⁴ Professor doutor, engenharia agrícola, Universidade Federal de Sergipe, Avenida Marechal Rondon Jardim s/n, Rosa Elze, 49100-000, São Cristóvão, Sergipe, Brasil, adilsonenes@gmail.com.

⁵ Professora doutora, zootecnia, Universidade Federal de Sergipe, A v. Vinte e Seis de Setembro, 1126, Nova Esperança, Nossa Senhora da Glória, Sergipe, Brasil, patriciaacbvale@hotmail.com.

RESUMO: O presente projeto teve como objetivo desenvolver e calibrar um clorofilômetro de baixo custo usando materiais do mercado local e reciclados. Leituras de NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) foram feitas às 11:00 em superfícies de asfalto, vegetação saudável, vegetação seca, mistura de vegetação seca e saudável e brita, todas a uma distância de 60 cm. Seus resultados de sensoriamento foram comparados aos do sensor GreenSeeker®. O custo para construção do aparato foi 83,2% menor que o valor de mercado do GreenSeeker® sendo o coeficiente de correlação da leitura feita pelos dois sensores, maior que 0,90. O clorofilômetro desenvolvido com baixo custo mostrou-se viável para aplicação em campo e acessível economicamente.

Palavras-chave: agricultura de precisão, índice de vegetação por diferença normalizada, fotoresistor.

PROTOTYPING AND CALIBRATION OF A LOW COST CHLOROPHILOMETER COMPOSED BY LDR'S FOR DETERMINING NDVI

ABSTRACT: This project aimed to develop and calibrate a low-cost chlorophyllometer using locally sourced and recycled materials. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) readings were taken at 11:00 a.m. on asphalt surfaces, healthy vegetation, dry vegetation, mixture of dry and healthy, and gravel, all of them at a distance of 60 cm. Its sensing results were compared to the GreenSeeker® sensor. The cost to build the apparatus was 88.3% less than the market value of the GreenSeeker® and the correlation coefficient of reading made by the two sensors, was greater than 0.90. The chlorophyllometer developed at low cost, proved to be viable for field applications and economically accessible.

Keywords: precision agriculture, photoresistor, normalized difference vegetation index.

1 INTRODUÇÃO

Definida pelo boletim técnico do Ministério da Agricultura, a agricultura de precisão (AP) compreende um “sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação

espacial e temporal da unidade produtiva e visa o aumento do retorno econômico, a sustentabilidade e a minimização do efeito ao ambiente” (BRASIL, 2012).

Visando obter manejos mais eficientes, com maior aproveitamento de insumos e por

consequência maior produtividade, lucro e preservação do meio ambiente, a AP propõe um conjunto de ferramentas para maximizar a produtividade diminuindo custos e os impactos ambientais. Essas ferramentas são na realidade métodos que permitem o conhecimento da variabilidade das culturas e das áreas trabalhadas (BERNARDI et al., 2014). Os métodos mais utilizados atualmente para mapear essa diferenciação envolvem o sensoriamento remoto, que busca informações da lavoura, diagnosticando, de maneira rápida e não destrutiva, dados sobre produtividade, biomassa, detecção de pragas e doenças e as necessidades hídrica da cultura (SHIRASTSUCHI et al., 2014).

A utilização do sensoriamento remoto para a aplicação de fertilizantes em taxas variáveis traz resultados positivos na redução do uso desses insumos, visto que evita a dosagem em excesso. Artuzo, Foguesatto e Silva (2017) relatam em sua pesquisa que a adoção de técnicas de fertilização variável reduziu em média 33,1% o uso de fertilizantes na cultura da soja, além da redução de insumos, houve aumento de produtividade em cerca de 10%.

Dentre os métodos que envolvem a aquisição de dados via sensoriamento remoto, destacam-se os Índices de Vegetação (IVs), que segundo Barbosa (2013), são equações matemáticas que avaliam a vegetação a partir da assinatura espectral emitida pela mesma, disponibilizando resultados quantitativos e qualitativos. Entre os IV's, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) é um dos mais utilizados. É um método indireto e não destrutivo que avalia o desempenho da cultura por meio de dados de refletância do vermelho (RED) e infravermelho próximo (NIR). O índice é calculado pela diferença entre o NIR e o RED dividida pela soma dos mesmos (ROUSE JUNIOR et al., 1974), os resultados variam entre -1 e 1, e quanto maior os valores obtidos, “maior será a quantidade de clorofila e massa seca e, conseqüentemente, a obtenção de maior potencial produtivo” (RISSINI; KAWAKAMI; GENUÍ, 2015).

Para a aquisição de tal índice, são utilizadas imagens de satélite. As imagens de

satélite possibilitam a obtenção dos índices e conseqüentemente o monitoramento do ambiente (VASCONCELOS; NOVO, 2004). Entretanto, as imagens de satélites estão sujeitas à influência da atmosfera, podendo essa interferir nos valores de NDVI (CHAVES et al., 2013), essa interferência pode prejudicar a obtenção de informações. Por conta disso, outros métodos estão sendo estudados e utilizados para a verificação do NDVI, entre eles, destacam-se os sensores óticos.

Sensores óticos como o GreenSeeker®, calculam o NDVI, utilizando diodos emissores de luz nas faixas vermelha (650 nm) e infravermelho próximo (770 nm), a quantidade de luz refletida pela vegetação é processada por um microprocessador embutido, retornando valores de NDVI em uma tela no próprio aparato. O aparelho obtém dados de maneira rápida, possibilitando caracterizar os Índices de Área Foliar (IAF) e de Área Verde (IAV). Além disso, é bastante empregado na agricultura de precisão como detector de plantas daninhas, e na definição do momento de aplicação das doses de nitrogênio (PASK et al., 2012).

Outro aparato bastante empregado na obtenção de IVs, são as câmeras multiespectrais como a Sequoia Micasense, essas câmeras são acopladas em Veículos Aéreos não Tripulados (VANT's) ou drones para a geração de imagens que permitirão a obtenção de informações sobre a área de cultivo (LEBOEUF, 2000).

Apesar da eficiência na obtenção de dados confiáveis, os equipamentos anteriormente citados têm um alto custo, R\$2.500,00 para o GreenSeeker®, e entre R\$19.000,00 e R\$45.000 para a Sequoia Micasense. Em virtude da necessidade de aplicar nitrogênio de maneira eficiente, prezando pela qualidade da produção e redução de custos, devido às limitações presentes nas atuais tecnologias de obtenção de NDVI, diversos projetos vêm sendo desenvolvidos a fim de encontrar métodos que possam superar esses empecilhos.

Atualmente, uma alternativa para substituir os sensores óticos anteriormente citados são os LDR's (*Light Dependent Resistor*). O funcionamento desse dispositivo é baseado no

efeito fotoelétrico e a sensibilidade da resistência do sensor está no espectro da luz visível (400 a 700nm) (MENDES JÚNIOR; STEVAN JÚNIOR, 2013). Uma proposta para ampliar o espectro sensível do LDR é a implementação de filtros que possam barrar ou permitam a passagem de partes específicas do espectro de luz. McHuhg (2008), demonstra que nas câmeras fotográficas convencionais existem conjuntos de filtros que barram a entrada de infravermelho, capturando assim uma imagem com as cores perceptíveis ao olho humano. Desse modo, para que as câmeras possam ser sensíveis ao NIR é necessário eliminar esses filtros (TOMMASELLI; HASEGAWA; GALO, 2000).

Visto que o LDR é um sensor dependente de controlador para que sua função possa ser realizada de maneira correta, é necessário implementar um controlador para a correta extração de dados pelo sensor e, assim, a partir deles serem realizadas as tomadas decisões. Uma solução viável para esse obstáculo, é a implementação do Arduino, que é um dispositivo que trabalha como microcontrolador, em conjunto com diversos sensores, o que tornou o custo de produção de protótipos mais baixo (ARDUINO, 2021).

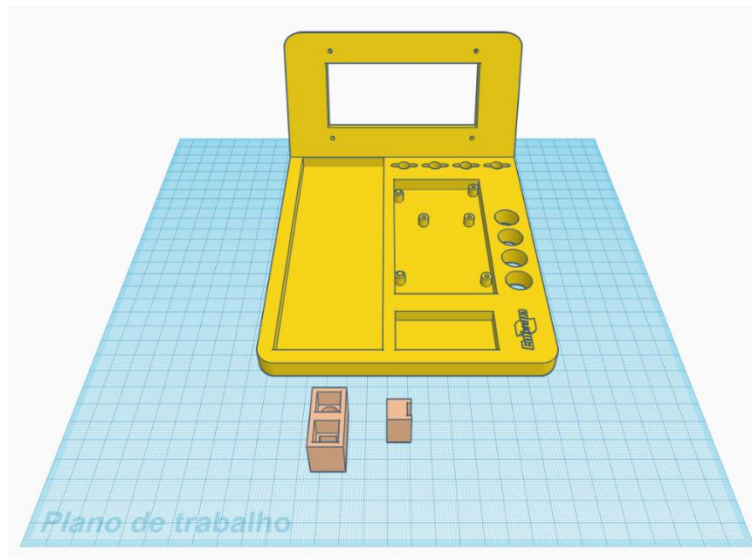
Assim, tendo em vista a contribuir no aumento da acessibilidade da AP com redução de custos, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver, testar e avaliar um clorofilômetro de baixo custo de fabricação composto por sensores LDR (*Light Dependent Resistor*).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente projeto foi realizado em cinco etapas: a primeira constitui-se do orçamento e compra dos materiais utilizados; a segunda, pelo desenvolvimento do suporte; a terceira, pela confecção do código de programação e arquitetura do diagrama de circuitos; a quarta, pelo desenvolvimento de testes dos filtros RGB (vermelho, verde e azul) e NIR; e a quinta, pela calibração do aparato. Essas etapas foram cumpridas no Laboratório de Automação Agropecuária da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Tabuleiros Costeiros e na Universidade Federal de Sergipe (UFS).

Primeiramente, para montar o aparelho, foram necessários os seguintes materiais: filamento PLA preto de 1,75 mm, cabos jumpers, sensor LDR de 5 mm, display LCD de 16x2, placa de prototipagem, Arduino Uno, *step down* hw-411, bateria 12 V, filtro rosco azul (modelo 085), filtro rosco verde (modelo 139), filtro rosco vermelho (modelo 426), filtro infravermelho 10 mm, resistor de 10 KOhm. Todos os materiais foram adquiridos no mercado local ou doados.

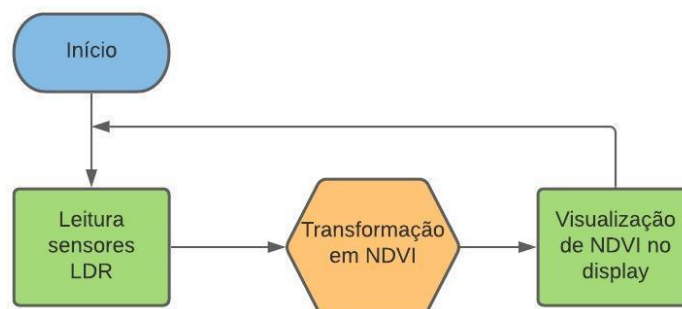
Em posse dos materiais foi possível iniciar a construção do suporte, no qual os equipamentos adquiridos foram inseridos. O layout do suporte foi desenhado usando a ferramenta gratuita ThinkerCad (Figura 1), nela foi possível criar um suporte que acomodasse o Arduino, a placa de prototipagem com os equipamentos, a bateria e os LDR's.

Figura 1. Projeto do suporte do sistema.

Fonte: O autor (2020).

Por meio do gerenciador Octoprint, o projeto foi exportado em formato .STL para que fosse realizado o *upload* no *software* de fatiamento Cura. Realizado esse procedimento, o projeto foi impresso em uma impressora 3D modelo Ender 3. A impressão foi feita em método de deposição de filamento PLA de 1,75 mm.

Para fazer com que os equipamentos adquiridos trabalhassem em conjunto, obtendo os dados almejados, foi criado um fluxo de programação (Figura 2), que foi responsável por estruturar a lógica de programação a qual permitiu que o Arduino controlasse os sensores, recebesse as informações coletadas por eles e as transformasse em valores de NDVI.

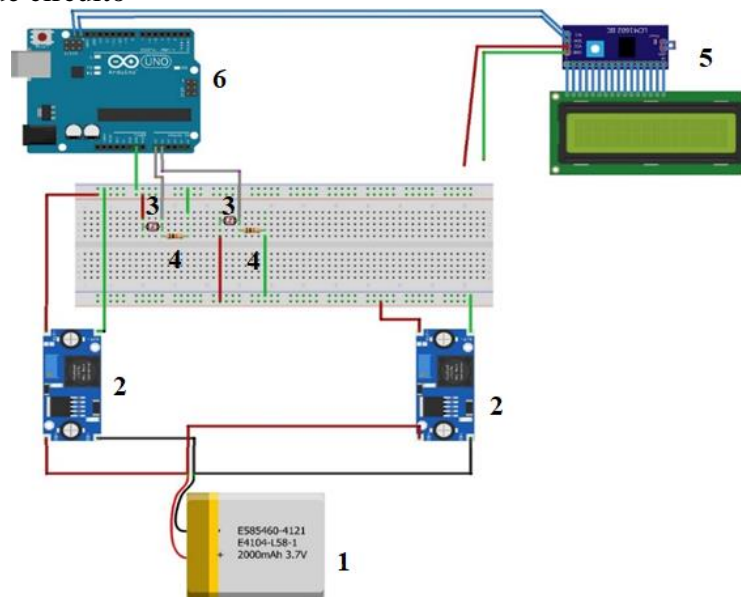
Figura 2. Fluxo de programação.

Fonte: O autor (2020).

Com o fluxo criado, foi possível transformar essa lógica em linguagem de programação no aplicativo Arduino IDE.

Posteriormente, foi criado um diagrama de circuito (Figura 3), respeitando as

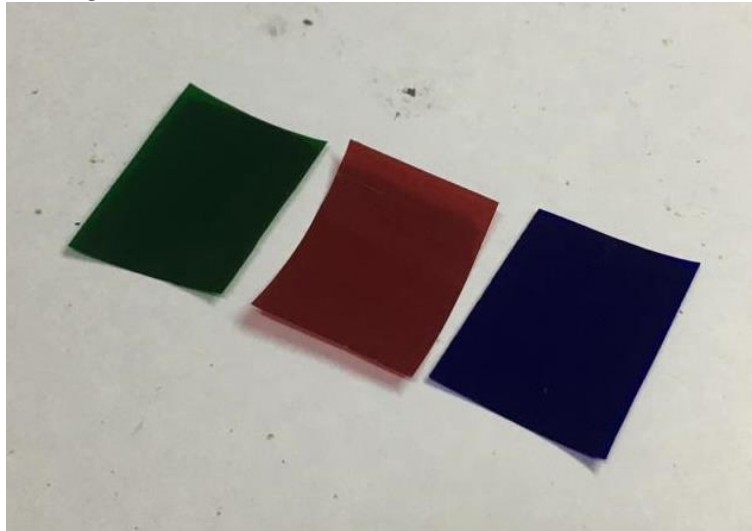
configurações de cada ferramenta. Esse diagrama auxiliou na montagem das peças no suporte e foi criado utilizando o programa gratuito Fritzing®.

Figura 3. Diagrama de circuito

1- Bateria de 12 V, 2- Step down, 3- LDR, 4- Resistor, 5- LCD, 6- Arduino.
Fonte: O autor (2020).

Para finalizar a montagem do aparato foram testados os filtros (Figura 4) que seriam acoplados aos sensores LDR. Esses filtros foram inseridos com o objetivo de barrar a entrada de determinadas faixas do espectro de luz. Com o

intuito de saber qual banda de luz cada filtro absorvia e refletia, foi realizado um teste em um espectrômetro Cary 300 no laboratório de laser contínuo do grupo de ótica não linear e linear da Universidade Federal de Sergipe.

Figura 4. Filtros RGB (*red, green, and blue*).

Fonte: O autor (2020).

O teste consistiu na inserção dos filtros azul, verde e vermelho no aparelho, dentro dele, os filtros foram expostos a luzes do espectro visível e não visível. Primeiramente, os filtros foram colocados separadamente dentro do

aparato para a verificação da banda do espectro que era absorvida pelos mesmos. Com a mesma finalidade do primeiro processo, os três filtros foram unidos e colocados no aparelho e verificou-se qual banda de infravermelho

atravessava o conjunto dos filtros. Para o sensor responsável pela captação da luz vermelha, foram unidos dois filtros, o vermelho, para que somente a luz vermelha o atravessasse, e um filtro para barrar a luz infravermelha. Já no outro sensor, foram utilizados os filtros, vermelho, verde e azul, assim foi possível captar somente o espectro infravermelho.

Com as peças devidamente conectadas, foi criado um sketch de programação na plataforma Arduino IDE usando linguagem C++. No código, foi possível atribuir as funções de receptores de luz para os sensores LDR e a partir dessa absorção de luz, o Arduino transformou os valores de intensidade de luz retornados em valores de NDVI.

Em posse do aparato montado, foram conduzidos os testes para a calibração, para isso, foram realizadas leituras com o aparato e com um sensor GreenSeeker®. Essas leituras foram

conduzidas em superfícies de asfalto, vegetação saudável de forrageiras, vegetação seca de forrageiras, mistura de vegetação seca e saudável de forrageiras e brita. Todas as medições foram realizadas às 11:00 horas com quatro repetições em cada superfície e à distância de 60 cm. Os dados adquiridos foram analisados a partir de análises estatísticas de correlação, regressão e análise de concordância, utilizando o programa Minitab® 19 (MINITAB, 2019), empregando-se o teste de Bland e Altman a fim de gerar uma equação para a calibração do aparato.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os materiais adquiridos foram orçados e resultaram num total de R\$ 420,57 (Tabela 1). Valor esse, que representa apenas 16,8% do custo do GreenSeeker® e de 0,9 % a 2,1% quando comparado ao valor da Sequoia Micasense.

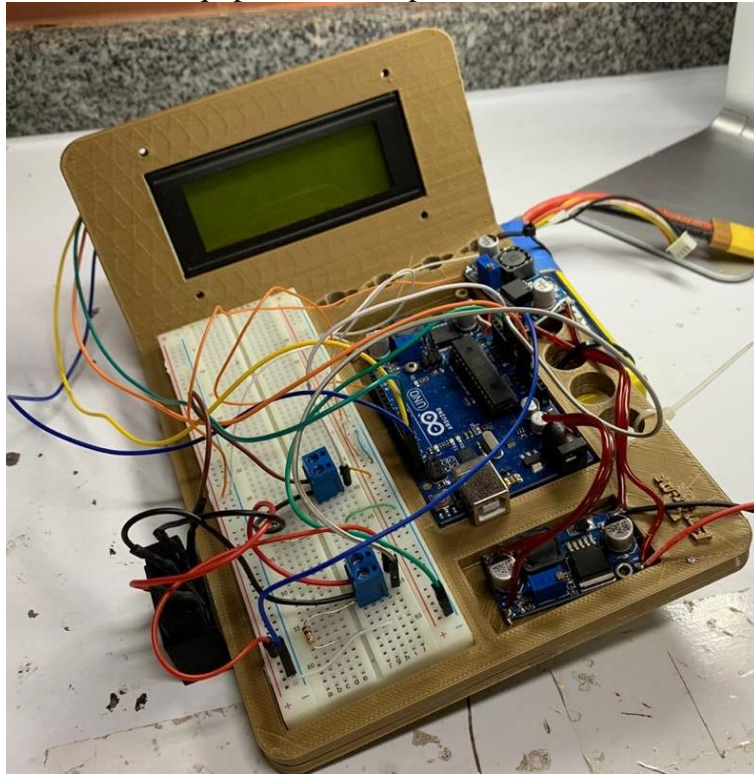
Tabela 1. Orçamento dos materiais.

Material	Quantidade	Valor unitário	Valor total
Filamento PLA	1	R\$120,00	R\$120,00
Pacote de cabos jumpers	1	R\$4,00	R\$4,00
Display LCD	1	R\$21,90	R\$21,90
<i>ProtoBoard</i>	1	R\$22,00	R\$22,00
Arduino Uno	1	R\$55,00	R\$55,00
<i>Step down</i>	3	R\$15,00	R\$45,00
Bateria	1	R\$ 70,00 (Doação)	R\$ 70,00 (Doação)
Filtro azul	1	R\$ 19,00 (Doação)	R\$ 19,00 (Doação)
Filtro verde	1	R\$ 19,00 (Doação)	R\$ 19,00 (Doação)
Filtro vermelho	1	R\$ 19,00 (Doação)	R\$ 19,00 (Doação)
Filtro infravermelho	1	R\$18,67	R\$18,67
Sensor LDR	2	R\$2,00	R\$4,00
Resistor	2	R\$1,50	R\$3,00
Total			R\$420,57

Fonte: O autor (2020).

A impressão 3D resultou em um suporte compacto (Figura 5), no qual foi possível acoplar os equipamentos e fazer a prototipagem do

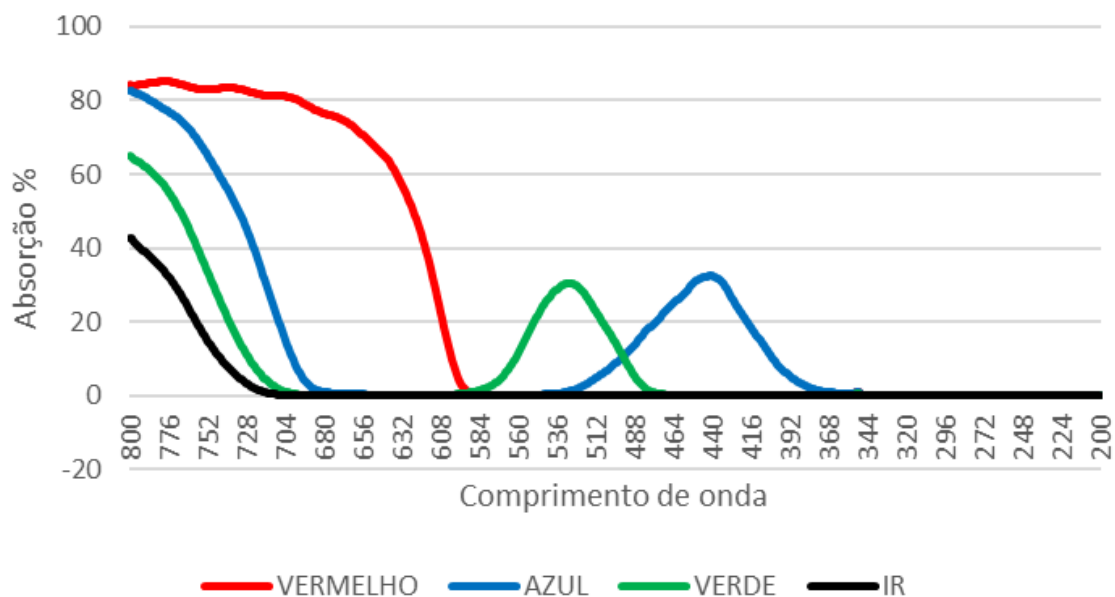
sistema seguindo as instruções do diagrama de circuito conforme apresentado na Figura 3.

Figura 5. Suporte montado com os equipamentos acoplados.

Fonte: O autor (2020).

Em seu lado esquerdo, foram acoplados os sensores LDR com os filtros. Graças aos testes feitos no espectrômetro, inferiu-se a partir da Figura 6, que todos os filtros, quando testados

sozinhos, têm uma absorção de luz na faixa do infravermelho próximo, entretanto, quando os filtros são colocados juntos (linha IR), apenas o espectro infravermelho os atravessa.

Figura 6. Faixas de absorção de luz pelos filtros.

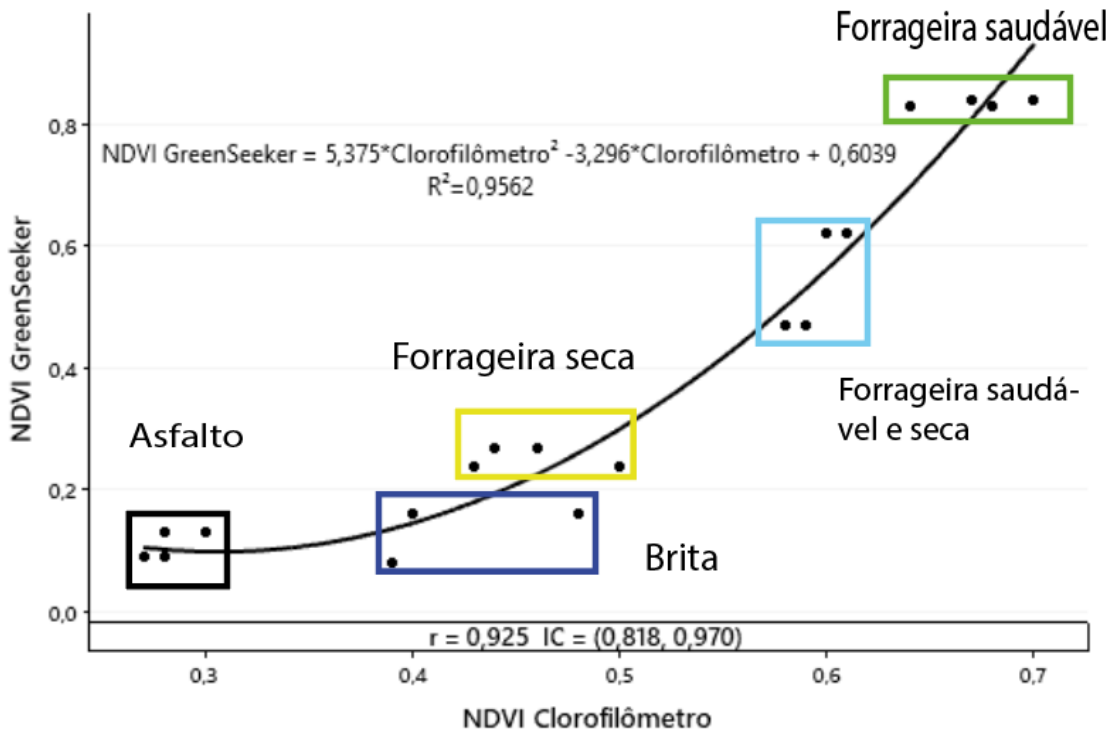
Fonte: O autor (2020).

Assim, para o sensor captar apenas a luz vermelha, foram colocados dois filtros, o vermelho que absorveu o espectro de luz vermelha e infravermelha e o filtro para barrar a luz infravermelha. Já no outro sensor, foram utilizados todos os filtros juntos, assim, foi absorvida apenas a faixa do espectro infravermelho próximo.

Para a calibração, foi realizada uma comparação entre os dados obtidos pelo aparato e pelo uso GreenSeeker®, a partir da análise de correlação, foi traçada uma linha de tendência.

Foi observado um R^2 de 0,9562, mostrando uma correlação muito forte entre os valores obtidos pelo clorofilômetro e o GreenSeeker®. O gráfico gerado (Figura 7), demonstra que os dados obtidos pelo clorofilômetro foram semelhantes aos gerados pelo GreenSeeker®, obtendo-se conforme mencionado anteriormente, um R^2 de 0,9562. Além disso, o gráfico da Figura 7 disponibilizou a equação de regressão dos valores lidos com o clorofilômetro por meio das leituras do NDVI com o GreenSeeker®.

Figura 7. Gráfico de comparação entre os dados obtidos pelo clorofilômetro e GreenSeeker.



Fonte: O autor (2020).

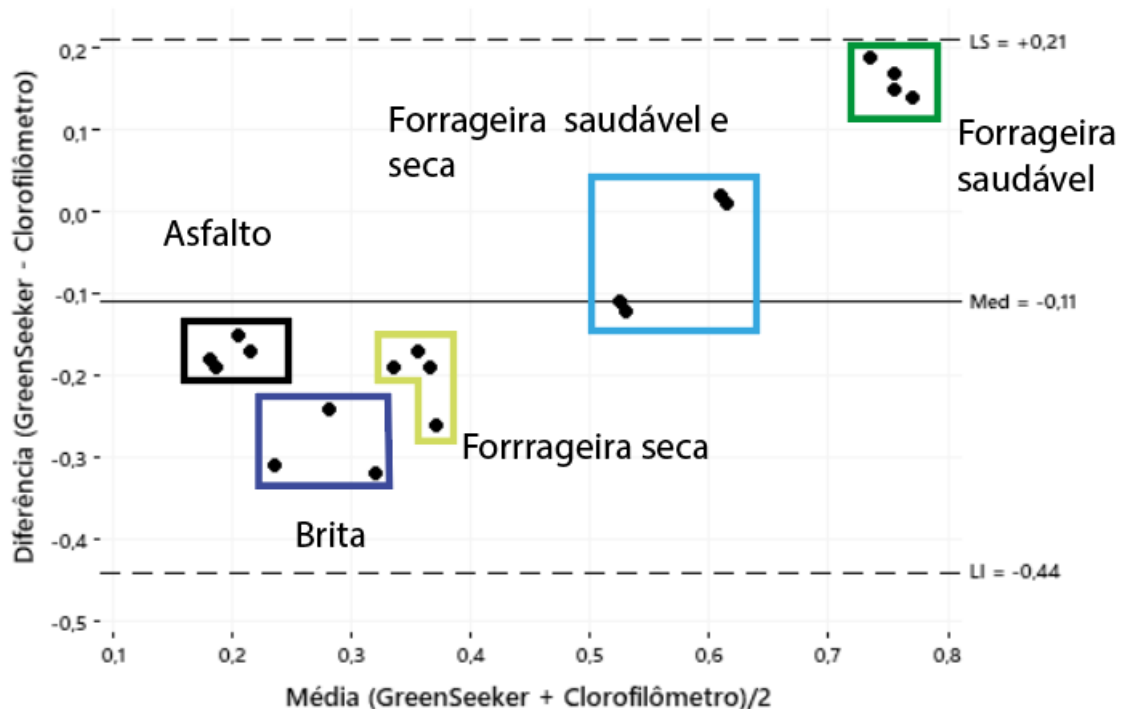
Para a verificação de concordância entre os valores de NDVI registrados pelo GreenSeeker® e os obtidos pelo clorofilômetro do presente trabalho, utilizou-se a análise gráfica de Bland e Altman (1986).

A análise do gráfico de Bland e Altman da Figura 8, que apresenta os resultados de concordância entre os valores de NDVI registrados pelo GreenSeeker® e o clorofilômetro, permitiu verificar que todos os valores se encontram dentro dos limites

estabelecidos. Percebe-se ainda que em média há uma diferença de -0,11 entre os valores registrados pelo GreenSeeker® e o clorofilômetro, tal diferença pode estar relacionada aos filtros utilizados no LDR, possivelmente, com a inserção de um filtro mais específico para imagens no espectro NIR, essa diferença seja ainda menor, mesmo assim, esse é um resultado excelente de concordância, que demonstra a viabilidade do clorofilômetro aqui apresentado para a utilização em campo, graças a

essa boa precisão (Figura 7) e seu excelente custo benefício (Tabela 1 e Figura 6).

Figura 8. Gráfico de BLAND e ALTMAN para comparações entre valores de NDVI registrados pelo GreenSeeker® e o clorofilômetro.



Fonte: O autor (2020).

4 CONCLUSÕES

O clorofilômetro desenvolvido tem uma alta precisão e seu valor é bem menor que os

demais equipamentos disponíveis no mercado. Sendo, portanto, uma ótima opção para o pequeno e médio produtor, na prática da agricultura de precisão.

5 REFERÊNCIAS

ARDUINO. **About Arduino**. [S. l.]: Arduino, 2021. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/about>. Acesso em: 25 nov. 2021.

ARTUZO, F. D.; FOGUESATTO, C. R.; SILVA, L. X. DA. Agricultura de precisão: inovação para a produção mundial de alimentos e otimização de insumos agrícolas. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v. 13, n. 29, p. 146-161, set. 2017.

BARBOSA, K. M. N. **Monitoramento espacial de biomassa e carbono orgânico da vegetação herbácea de várzea na Amazônia Central**. Curitiba: DSpace, 2013.

BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2014. v. 1.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **Lancet**, v. 327, n. 1, p. 307-310, fev. 1986.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº 852 – Art. 10 Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 184, p. 1-2, 20 set. 2012.

CHAVES, M. E. D.; MATAVELI, G. A. V.; GERRERO, J. V. R.; JUSTINO, R. C. Análise comparativa do NDVI estimado a partir de valores de níveis digitais originais e de reflectâncias aparente e de superfície. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 8261-8268.

LEBOEUF, J. Practical Applications of Remote Sensing Technology—An Industry Perspective. **HortTechnology**, Fresno, v. 10, n. 3, p. 475-480, jul. 2000.

MINITAB. **Interpretar os principais resultados para Gráfico de ensaio**. [S. l.]: Minitab, 2019. Disponível em: <https://support.minitab.com/pt-br/minitab/18/help-and-how-to/quality-and-process-improvement/quality-tools/how-to/run-chart/interpret-the-results/key-results/>. Acesso em: 30 out. 2020.

MENDES JÚNIOR, J.; STEVAN JÚNIOR, S. **LDR e Sensores de Luz Ambiente**: Funcionamento E Aplicações. Ponta Grossa: SEA, 2013.

PASK, A.; PIETRAGALLA, J.; MULLAN, D.; REYNOLDS, M. P. **Physiological breeding II**: a field guide to wheat phenotyping. Cidade do Mexico: SAGARPA, 2012.

RISSINI, A. L. L.; KAWAKAMI, J.; GENÚ, A. M. Índice de Vegetação por Diferença Normalizada e Produtividade de Cultivares de Trigo Submetidas a Doses de Nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 39, n. 6, p. 1703-1713, dez. 2015.

ROUSE JUNIOR, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In*: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington, DC. **Technical Presentations [...]**. Washington, DC: NASA, dec. 1974. v. 1, p. 309-317.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDAO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. **Sensoriamento remoto**: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1002909/sensoriamento-remoto-conceitos-basicos-e-aplicacoes-na-agricultura-de-precisao>. Acesso em: 6 out. 2021.

TOMMASELLI, A.; HASEGAWA, J.; GALO, M. Modernas tecnologias de aquisição de imagens em fotogrametria. **Boletim de Ciencias Geodesicas**, Presidente Prudente, v. 6, n. 1, p. 49-64, jan. 2000.

VASCONCELOS, C.; NOVO, E. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens-fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí - PA. **Acta Amazonica**, São José dos Campos, v. 34, n. 3, p. 487-493, set. 2004.