



Universidade Federal
de São João del-Rei

EZEQUIEL GARCIA DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELO
MATEMÁTICO PARA ESTIMATIVA POPULACIONAL DE
ÁCARO-RAJADO EM SOJA**

**SETE LAGOAS
2022**

EZEQUIEL GARCIA DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELO
MATEMÁTICO PARA ESTIMATIVA POPULACIONAL DE
ÁCARO-RAJADO EM SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre, em Ciências Agrárias. na área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Matiello Fadini

Coorientador: Prof. Dr. Antonio José Steidle Neto

**SETE LAGOAS
2022**

Ficha catalográfica elaborada pela Divisão de Biblioteca (DIBIB)
e Núcleo de Tecnologia da Informação (NTINF) da UFSJ,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S729d Souza, Ezequiel Garcia de.
Desenvolvimento e validação de modelo matemático
para estimativa populacional de ácaro-rajado em soja
/ Ezequiel Garcia de Souza ; orientador Marcos
Antônio Matiello Fadini; coorientador Antonio José
Steidle Neto. -- Sete Lagoas, 2022.
30 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação em
Ciências Agrárias) -- Universidade Federal de São
João del-Rei, 2022.

1. Amostragem. 2. Tetranychus urticae. 3. Glycine
max. 4. Colorimetria. I. Fadini, Marcos Antônio
Matiello, orient. II. Neto, Antonio José Steidle ,
co-orient. III. Título.

EZEQUIEL GARCIA DE SOUZA

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELO
MATEMÁTICO PARA ESTIMATIVA POPULACIONAL DE
ÁCARO-RAJADO EM SOJA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus* Sete Lagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre, em Ciências Agrárias.

Área de concentração em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Matiello Fadini

Coorientador: Prof. Dr. Antonio José Steidle Neto

Sete Lagoas, 29 de julho de 2022.

Banca examinadora:

Dr^a. Elem Fialho Martins – Epamig Centro Oeste

Dr. Marco Aurélio Guerra Pimentel – Embrapa Milho e Sorgo

Prof. Dr. Marcos Antônio Matiello Fadini
Orientador - UFSJ

“Paciência e perseverança tem o efeito mágico de fazer as dificuldades desaparecerem e os obstáculos sumirem”

John Quincy Adams

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas bênçãos em minha vida, por todos os dias bons, e também pelos dias ruins, que me ensinaram que tudo pode ser melhor quando se tem FÉ. Agradeço aos meus pais, Júlio e Eva. À minha mãe do coração, Maria José. À minha irmã, Juliana. E à toda minha família, por todo apoio e por todo carinho nessa jornada. Obrigado pelo incentivo, amo vocês!

Ao meu orientador, Prof. Marcos Antônio Matiello Fadini, pela paciência, pelo incentivo e pela sabedoria. Um exemplo de profissional, em quem me inspiro. Sempre ético e comprometido com todos. Vou levar seus ensinamentos para vida, obrigado por tudo!

Ao meu coorientador, Prof. Antonio José Steidle Neto, por todo auxílio durante a condução do experimento.

Aos amigos do Grupo ConhecimEnto, pelo auxílio e pelo convívio durante esses anos. Aos mestres e aos amigos de verdade, que me ensinaram, me incentivaram e me ajudaram a chegar aqui, direta ou indiretamente, contribuindo para o meu crescimento.

Agradeço aos membros da banca examinadora, Dr^a. Elem Fialho Martins e Dr. Marco Aurélio Guerra Pimentel, pela disponibilidade e pela valiosa contribuição.

À UFSJ pela concessão da bolsa e dos equipamentos para realização do experimento.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Médias dos parâmetros de cor no espaço CIE-L*a*b* e diferenças de cor (ΔE^*), entre os tratamentos.	12
Tabela 2. Coeficiente de correlação (r) e Coeficiente de Determinação (r^2) das regressões lineares, para L*, para a* e para b*.	15
Tabela 3. Agrupamento dos níveis de infestação final e valores de (a*), em clusters. .	16

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Espaço de cores CIE- $L^*a^*b^*$ (Fonte: KONICA MINOLTA SENSING, 1998).	10
Figura 2. Equipamentos e acessórios usados para mensuração de cor, em folhas de soja.	11
Figura 3. Demonstração gráfica das distribuições de cores para Luminosidade (L^*), verde (a^*), amarelo (b^*), médias entre os tratamentos, após 10 dias de infestação. Infestações: Testemunha=0; T1=30; T2=60 e T3=100, ácaros por folíolo de soja.....	13
Figura 4. Dependências lineares entre A) Luminosidade L^* , B) verde a^* , C) amarelo b^* e D) diferença de cor ΔE^* , para número de formas móveis de ácaros.....	14
Figura 5. Classificação das infestações finais em clusters.	16

SUMÁRIO

RESUMO GERAL	I
GENERAL ABSTRACT.....	II
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS	3
ARTIGO - DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMATIVA POPULACIONAL DE ÁCARO-RAJADO EM SOJA	5
Resumo	5
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	8
Resultados.....	12
Discussão	17
Conclusão	18
Referências	18

ESTIMATIVA POPULACIONAL DE ÁCAROS-PRAGA NA SOJA PELO SISTEMA CIE- $L^*a^*b^*$ ¹

RESUMO GERAL - O objetivo deste trabalho foi estimar a quantidade do ácaro-rajado *T. urticae*, na soja, por medidas colorimétricas utilizando o espaço de cores CIE- $L^*a^*b^*$. Utilizaram-se plantas de soja em estágio V3, com 4 tratamentos (Testemunha=0; T1=30; T2=60 e T3=100 fêmeas adultas de *T. urticae* por planta), 3 repetições e 170 medidas. Após 10 dias da infestação inicial, as plantas foram transportadas para o Laboratório, onde foram realizadas as medidas colorimétricas e a contagem dos ácaros. O modelo criado para estimar a quantidade de ácaros, em folhas de soja, tem potencial para ser aplicado em áreas de produção de soja, com infestações do ácaro-rajado.

Palavras-chave: Amostragem. *Tetranychus urticae*. *Glycine max*. Colorimetria.

Comitê orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Matiello Fadini (orientador - UFSJ); Prof. Dr. Antonio José Steidle Neto (coorientador - UFSJ)

POPULATION ESTIMATE OF THE TWOSPOTTED SPIDER IN SOYBEAN BY THE CIE- $L^*a^*b^*$ SYSTEM²

GENERAL ABSTRACT - The present study's objective was to estimate the amount of *T. urticae* mites, in soybean, for colorimetric measurements using the CIE- $L^*a^*b^*$ color space. The technical aspects of planting and nutritional needs of plants were strictly followed. Soy plants were used in the V3 stadium with four treatments (witness = 0; t1 = 30; t2 = 60 and t3 = 100 adult females of *T. urticae* per plant) and three repetitions and 170 measurements. After ten days of the initial infestation, the plants were transported to the agricultural entomology laboratory, where the coloring and mites counting measures were performed. The model designed to estimate the number of soy leaves has the potential to be applied to soy production areas with mite infestations.

Keywords: Sampling. *Tetranychus urticae*. *Glycine max*. Colorimetry.

Comitê orientador: Prof. Dr. Marcos Antônio Matiello Fadini (orientador - UFSJ); Prof. Dr. Antonio José Steidle Neto (coorientador - UFSJ)

INTRODUÇÃO GERAL

A soja é uma das principais culturas agrícolas do Brasil, sendo o mesmo, o maior produtor no mundo, com produção de 124,05 milhões de toneladas na safra 2021/22. O país apresentou crescimento da área cultivada, com o grão, em comparação à safra 2020/21, alcançando a marca de 40,9 milhões de hectares cultivados, obtendo assim, estoques previstos para o fim de 2022, com cerca de 4,65 milhões de toneladas (CONAB, 2022).

O crescimento da soja, no Brasil, foi possível, devido aos avanços tecnológicos e aos investimentos em conhecimento científico e em pesquisas científicas, ajudando na modernização da cultura em território nacional (Nehring, 2022). Com isso, a cultura da soja é caracterizada pelo monocultivo em grandes áreas e pelo uso indiscriminado de pesticidas, que afetam a biodiversidade, favorecendo o desenvolvimento de artrópodes fitófagos. (De Araújo, et al., 2022).

Diversos grupos de insetos têm se destacado, como pragas da soja, mas nos últimos anos, os ácaros como o ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae), têm se mostrado uma praga com potencial de causar injúrias e danos, quando em condições favoráveis (Moscardi et al., 2012). Essas ocorrências têm sido consideradas anormais (Roggia, 2008). Grandes infestações do ácaro-rajado, em soja, resultam no amarelecimento, na queda das folhas, na diminuição do vigor e na morte da planta (Kranz et al., 1977). Em ataques severos, podem provocar até 60% de perdas na produção (Pedigo & Rice, 2009).

O controle de ácaros baseia-se, principalmente, no uso de acaricidas organossintéticos. As pulverizações devem ser realizadas com base em amostragem das plantas (Jakubowska et al., 2022). Mas, devido às dificuldades em se encontrar técnicas de amostragem adequadas, para áreas com grande extensão territorial, e ao aumento rápido no tamanho da população, a amostragem se torna uma técnica trabalhosa no manejo integrado de ácaros.

A amostragem é uma atividade que demanda tempo e pessoal qualificado, o que pode representar um aumento no custo de produção. O deslocamento em áreas extensas, representa um custo elevado, levando a não realização dessa técnica, ocasionando uma maior chance de se realizar aplicações de inseticidas, sem necessidade (Pedigo & Rice 2009).

Os danos ocasionados pelos ácaros, como a clorose, são facilmente identificáveis pela alteração de cor nas folhas. Com isso, o uso de técnicas colorimétricas pode prover facilidades, para amostragem, através do processamento das injúrias nas folhas. O espaço de cor CIE- $L^*a^*b^*$ é usado para detecção de diferenças na cor, de diversos materiais, tais como, folhas (Setyawan et al., 2018), madeira (De Paula et al., 2016), solos (Vodyanitskii & Kirillova, 2016), e frutas (Cáceres, 2016). As alterações de cor são muito similares às alterações captadas pelos olhos humanos.

No espaço de cor CIE 1976 (L^*, a^*, b^*), o coeficiente de luminosidade L^* , vai do preto = 0 ao branco = 100. As coordenadas (a^*, b^*) se localizam perpendiculares ao eixo L. Sendo os valores a^* e b^* no centro do eixo igual a 0, possuindo a cor acromática. No eixo horizontal, o valor positivo a^* , indica a cor vermelha, e o valor negativo a^* , indica a cor verde. No eixo horizontal, o valor positivo b^* , indica a cor amarela, e o valor negativo b^* , indica a cor azul (McGuire, 1992).

Devido às perdas causadas pelo ácaro-rajado, na soja, e diante da ausência de formas objetivas, de amostragem dos mesmos, visou-se com o presente estudo, estimar o número de indivíduos adultos do ácaro-rajado *T. urticae*, através de medidas colorimétricas, em folhas de soja, contribuindo para o monitoramento preciso e eficaz dessa praga.

REFERÊNCIAS

CÁCERES, D.; DÍAZ, M.; SHINYA, P.; INFANTE, R. Assessment of peach internal flesh browning through colorimetric measures. **Postharvest Biology and Technology**, v. 111, p. 48-52, 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 10 décimo levantamento, julho 2022.

DE PAULA, M. H.; DE MESQUITA, R. R. S.; GONÇALEZ, J. C.; RIBEIRO, E. S.; SOUZA, R. S. Utilização de métodos não destrutivos para caracterização simplificada da madeira de cumaru (*Dipteryx odorata* Willd). **Biodiversidade**, v. 15, n. 2, 2016.

JAKUBOWSKA, M.; DOBOSZ, R.; ZAWADA, D.; KOWALSKA, J. A Review of Crop Protection Methods against the Twospotted Spider Mite—*Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae)—With Special Reference to Alternative Methods. **Agriculture**, v. 12, n. 7, p. 898, 2022.

KRANZ, J.; SCHMUTTERER, H. KOCH, W. **Diseases, pests and weeds in tropical crops**. Paul Parey, Berlin, Germany, 1977. 663p.

MCGUIRE, R. G. Reporting of objective color measurements. **HortScience**, v. 27, n. 12, p. 1254-1255, 1992.

MOSCARDI, F.; BUENO, A.F.; SOSA-GÓMEZ, D.R.; ROGGIA, S.; HOFFMANN-CAMPO, C.B.; POMARI, A.F.; CORSO, I.C.; YANO, S.A.C. Artrópodes que atacam as folhas da soja. In: Hoffmann-Campo, C.B.; Corrêa-Ferreira, B.S.; Moscardi, F. (Ed.) **Soja: manejo integrado de insetos e outros artrópodes-praga**. Brasília: Embrapa. 2012. p. 2013-334.

NEHRING, R. The Brazilian Green Revolution. **Political Geography**, v. 95, p. 102574, 2022.

PEDIGO, L.P.; RICE, M.E. **Entomology and pest management**. Prentice Hall: New Jersey, 6th ed. 2008.

ROGGIA, S.; GUEDES, J. V. C.; KUSS, R. C. R.; ARNEMANN, J. A.; NÁVIA, D. Spider mites associated to soybean in Rio Grande do Sul, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 295-301, 2008.

SETYAWAN, T. A.; RIWINANTO, S. A.; NURSYAHID, A.; NUGROHO, A. S. Comparison of hsv and lab color spaces for hydroponic monitoring system. In: **2018 5th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)**. IEEE, 2018. p. 347-352.

VODYANITSKII, Y. N.; KIRILLOVA, N. P. Application of the CIE-L* a* b* system to characterize soil color. **Eurasian Soil Science**, v. 49, n. 11, p. 1259-1268, 2016.

ARTIGO - DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMATIVA POPULACIONAL DE ÁCARO-RAJADO EM SOJA

Resumo - O ácaro-rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) provoca o bronzeamento e a queda das folhas na soja, reduzindo a produção e a qualidade dos grãos. O acompanhamento dos níveis populacionais, dessa espécie, é importante para aprimorar seu manejo em plantios comerciais. Utilizar medidas colorimétricas, em áreas produtoras de soja, pode ser uma alternativa para o monitoramento do ácaro, auxiliando na estimativa de populações em campo. Assim, objetivou-se com o presente estudo estimar a quantidade do ácaro-rajado *T. urticae*, na soja, por medidas colorimétricas utilizando o espaço de cores CIE- $L^*a^*b^*$. Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação e no laboratório de Entomologia Agrícola, da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas, Sete Lagoas-Minas Gerais, Brasil. A variedade de soja utilizada foi a BRS 7780 IPRO, presente em áreas produtoras no estado de Minas Gerais. As plantas foram mantidas em casa de vegetação, com temperatura e com umidade controladas, em vasos plásticos de 1 L com substrato Terral Solo[®], até o estágio V3, quando foram realizadas as infestações. Os aspectos técnicos de plantio e as necessidades nutricionais das plantas, foram rigorosamente acompanhados. Utilizaram-se plantas de soja em estágio V3, com 4 tratamentos (Testemunha=0; T1=30; T2=60 e T3=100 fêmeas adultas de *T. urticae* por planta), 3 repetições e 170 medidas. Infestou-se, uma folha de cada planta, com fêmeas procedentes da criação, aplicando-se cola entomológica Biocontrole[®], nas bordas, para evitar fuga dos ácaros. As folhas escolhidas, para a infestação, foram marcadas com fitas azuis, para identificação futura. Após 10 dias da infestação inicial, as plantas foram transportadas para o Laboratório de Entomologia Agrícola, onde foram realizadas as medidas colorimétricas e a contagem dos ácaros. Foram feitas análises de regressão e de variância, usando o software Origin Pro 2015. Equações de previsão foram calibradas e validadas. Houve diferença significativa para as variáveis L^* , a^* e ΔE^* . As análises de regressão apresentaram valores de coeficientes de determinação de 0,87; de 0,93 e de 0,55 para L^* , a^* , e b^* , respectivamente. O uso da variável verde (a^*), no espaço CIE- $L^*a^*b^*$ se mostrou eficaz para distinguir-se entre os níveis de infestação. O modelo criado para estimar a quantidade de ácaros, em folhas de soja, tem potencial para ser aplicado em áreas de produção de soja, com infestações do ácaro-rajado.

Palavras-chave: Amostragem. *Tetranychus urticae*. *Glycine max*. Colorimetria.

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF MODEL TO POPULATION ESTIMATE THE TWOSPOTTED MITE IN SOYBEAN

Abstract - The twospotted spider mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) causes tanning and falling leaves in soy, reducing production and grain quality. Follow-up of population levels of this species is essential to improve their management in commercial plantations. Using colorimetric measures in soy-producing areas can be an alternative for mite monitoring, assisting in the estimated field populations. Thus, the present study's objective was to estimate the amount of *T. urticae* mites, in soybean, for colorimetric measurements using the CIE- $L^*a^*b^*$ color space. The experiments were conducted at a vegetation house and the Agricultural Entomology Laboratory of the Federal University of São João Del-Rei, Sete Lagoas Campus, Minas Gerais, Brazil. The variety of soybean used was the BRS 7780 IPRO present in producing areas in Minas Gerais. The plants were kept in a vegetation house with controlled temperature and humidity, in 1 L plastic vessels with Terral Solo® substrate to the V3 stadium when infestations were performed. The technical aspects of planting and nutritional needs of plants were strictly followed. Soy plants were used in the V3 stadium with four treatments (witness = 0; t1 = 30; t2 = 60 and t3 = 100 adult females of *T. urticae* per plant) and three repetitions and 170 measurements. A sheet of each plant with females from breeding was infested, using Entomological Biocontrole® glue on the edges to avoid mites escaping. The sheets chosen for the infestation were marked with blue tapes for future identification. After ten days of the initial infestation, the plants were transported to the agricultural entomology laboratory, where the coloring and mites counting measures were performed. Regression and variance analyzes were performed using the Origin Pro 2015 software. Forecasting equations were calibrated and validated. There was a significant difference for the variables L^* , a^* and ΔE^* . Regression analyses presented values of determination coefficients of 0.87, 0.93, and 0.55 to L^* , a^* , and b^* , respectively. Using the green variable (a^*) in the CIE- $L^*a^*b^*$ space proved effective in distinguishing between infestation levels. The model designed to estimate the number of soy leaves has the potential to be applied to soy production areas with mite infestations.

Keywords: Sampling. *Tetranychus urticae*. *Glycine max*. Colorimetry.

Introdução

Um dos principais componentes dos programas de manejo integrado de pragas é a amostragem. É através da amostragem que se estima a população de determinada praga para avaliar seu status. Ou seja, conforme o número de indivíduos estimado pode-se tomar decisões quanto ao controle da população ou não. Estimativas imprecisas podem levar a decisões equivocadas, o que, na maioria das vezes, tem como consequência aplicações de inseticidas e acaricidas desnecessárias (Pedigo & Rice, 2008).

Dentre as espécies que atacam a soja, o ácaro-rajado *T. urticae* tem-se destacado como uma praga importante, devido as suas injúrias e danos à cultura. (Guedes et al., 2007). Infestações causadas por *T. urticae* resultam no amarelecimento e queda das folhas, diminuição do vigor e morte da planta (De Carvalho et al., 2018). Devido às características morfológicas e comportamentais dos ácaros, a amostragem se torna uma técnica trabalhosa.

A utilização de técnicas em nível terrestre facilitaria o processo para aferir a presença e a quantidade de ácaros em uma suposta infestação. Metodologias de amostragem rápidas, precisas e de menor custo são necessárias e devem ser desenvolvidas (Nansen, 2016). Com isso, para se realizar ou decidir por táticas de controle curativas de pragas, como o controle químico, deve-se realizar procedimentos de amostragens precisas e de custo reduzido.

O uso do espaço de cor CIE- $L^*a^*b^*$ em plantas infestadas pode ser uma alternativa para auxiliar na estimativa de populações de ácaros-pragas. Este espaço de cor proporciona uma representação tridimensional de cores, posicionando cada cor num espaço e permitindo a sua localização através de coordenadas: L^* , a^* e b^* . O eixo L^* representa a luminosidade e varia entre zero (preto) e 100 (branco). As duas outras coordenadas a^* e b^* representam variações entre vermelho/verde e amarelo/azul, respectivamente (Carvalho, 2008).

Assim, com o presente estudo, objetivou-se estimar o número de indivíduos adultos do ácaro-rajado *T. urticae*, através de medidas colorimétricas, em folhas de soja.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação e no Laboratório de Entomologia Agrícola, da Universidade Federal de São João del-Rei, *Campus Sete Lagoas*, Sete Lagoas-Minas Gerais, Brasil.

Coletas de campo e criações de ácaros

As coletas do ácaro-rajado, *Tetranychus urticae*, para o início das criações, foram realizadas em áreas experimentais e em plantios de soja, na Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas-Minas Gerais, Brasil. Tais coletas, tiveram por finalidade iniciar criações de ácaros em casa de vegetação e no laboratório. Os ácaros coletados, no campo e em casa de vegetação, foram transferidos para laboratório, afim de obter as progênes a serem utilizadas no estudo.

Em média, dez casais de *T. urticae* foram criados, sobre a face abaxial, de folhas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), sobre espuma plástica, com as bordas cobertas com algodão umedecido em caixas plásticas. As caixas foram mantidas em câmara climatizada, tipo BOD, à temperatura de $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70\% \pm 10\%$ e fotofase, de 12 horas.

Infestação das plantas de soja

A cultivar soja utilizada foi a BRS 7780 IPRO, presente em áreas produtoras no estado de Minas Gerais, que se encontram nas regiões edafoclimática 303, (GO e MG) e 304, (GO, MG e DF). As plantas foram mantidas em casa de vegetação. Foram semeadas quatro sementes de soja, em vasos de polietileno, com capacidade de 1L, preenchidos com terra. Realizou-se a análise física e química do solo (pH, macronutrientes, micronutrientes e matéria orgânica), e de acordo com o resultado da análise, determinou-se o quantitativo de adubos necessários, para suprir as necessidades das plantas de soja, conforme Manual de Adubação e Calagem de Minas Gerais (RIBEIRO, 1999). Após a

emergência das plântulas, de soja, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta por vaso, correspondente a unidade experimental até o estágio V3, quando foram realizadas as infestações. Os aspectos técnicos de plantio e as necessidades nutricionais, das plantas, foram rigorosamente acompanhados.

Os níveis de infestação inicial foram de 0, de 30, de 60 e de 100 fêmeas adultas, de *T. urticae*, por planta, com 4 repetições cada. Infestou-se uma folha de cada planta, com os ácaros procedentes da criação, utilizando-se cola entomológica Biocontrole®, nas bordas, para evitar fuga dos ácaros. As folhas escolhidas para a infestação, foram marcadas com fitas azuis, para identificação futura. Após 10 dias da infestação inicial, as plantas foram transportadas para o Laboratório de Entomologia Agrícola, onde foram realizadas as medidas cromáticas.

Medidas cromáticas e contagem dos Ácaros

Para a obtenção das leituras, das folhas, foi utilizado um espectrofotômetro portátil (Minolta CM 700d) (Figura 1). O espaço de cores CIE- $L^*a^*b^*$, presente no espectrofotômetro foi caracterizado por três coordenadas, onde L^* , é referente à luminosidade da amostra, variando do preto ao branco, a^* , é referente ao eixo vermelho-verde, e b^* , referente ao eixo amarelo-azul (CIE, 1986).

Além das variáveis L^* , a^* e b^* foi calculado a diferença de cor ΔE^* , descrita por $\Delta E^* = [((\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2) 0,5]$ (Vilhalva et al., 2012). A fórmula descrita é usada para expressar a diferença de cor no espaço CIE- $L^*a^*b^*$, pois representa os três parâmetros do espaço de cor CIE- $L^*a^*b^*$, facilitando comparações entre as amostras.

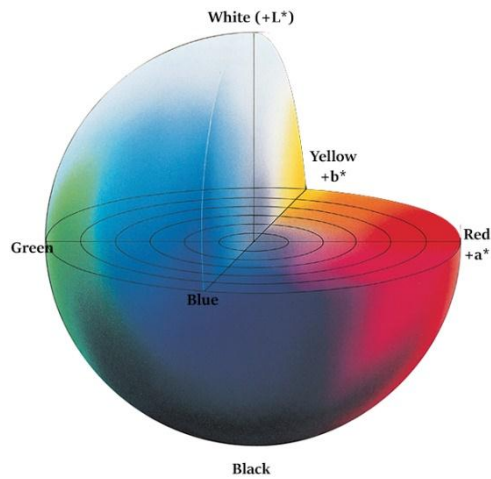


Figura 1. Espaço de cores CIE- $L^*a^*b^*$ (Fonte: KONICA MINOLTA SENSING, 1998).

Foi considerado o tempo de cinco minutos, para a adequada calibração do equipamento. Essa calibração correspondeu à aquisição do padrão, contido no equipamento. Em função da folha de soja ser delgada, foi utilizada uma superfície de coloração preta fosca, para evitar a contribuição da reflexão de luz, posterior à sua transmissão pela folha. A folha de soja foi posicionada, durante as medidas, entre a superfície preta fosca e o orifício de medida do equipamento. As medidas foram realizadas, posicionando o equipamento sobre a face adaxial da folha, evitando-se a nervura central e as bordas.

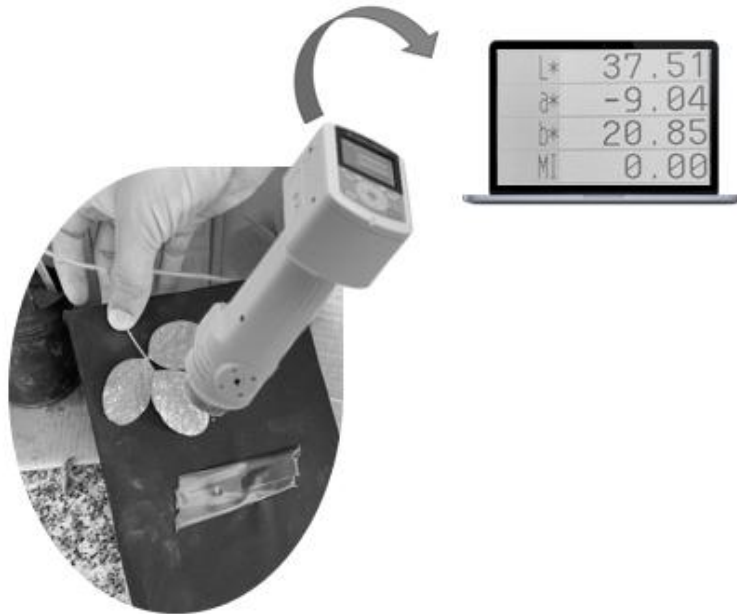


Figura 2. Equipamentos e acessórios usados para mensuração de cor, em folhas de soja.

Para melhor classificação, o número de medidas totais foi previamente estabelecido. Foi realizada, aproximadamente, 20 medidas em cada amostra, usando o valor médio das medições colorimétricas, para criação do modelo.

Após a realização das medidas, foi feita a contagem do número de formas móveis, do ácaro-rajado *T. urticae* nas folhas, com auxílio de um estereomicroscópio óptico. Os ácaros foram contados e retirados, individualmente, com o auxílio de um pincel.

Processamento e análise dos dados

As análises de variância e de regressão, foram feitas usando o software Origin Pro 2015. Equações de previsão e coeficientes de determinação e correlação, foram obtidos. O agrupamento dos dados foi realizado, utilizando-se o método de clusterização K-means.

A distribuição da cor, das folhas, foi determinada e plotada em gráfico, contendo as coordenadas L^* , a^* e b^* . Para a calibração do modelo, foram utilizados 70% dos dados, e para validação do modelo, 30% dos dados.

Resultados

As variáveis luminosidade (L^*) ($F=25,3$; $gl=11$; $P=<0,005$), verde (a^*) ($F=62,5$; $gl=11$; $P=<0,005$) e diferença de cor (ΔE^*) ($F=21,3$; $gl=11$; $P=<0,005$), foram significativas pelo teste F, ao nível de 5% de significância. A variável amarela (b^*) ($F=25,7$; $gl=11$; $P=0,2244$), não foi significativa. Na Tabela 1, são apresentados os valores médios, dos parâmetros colorimétricos, obtidos nas medições, juntamente com o teste de Tukey, para comparação de médias.

Tabela 1. Médias dos parâmetros de cor no espaço $CIE-L^*a^*b^*$ e diferenças de cor (ΔE^*), entre os tratamentos.

Níveis de Infestação Inicial	Variáveis			
	L^*	a^*	b^*	ΔE^*
0	36,48a	-9,20a	18,03a	0,00a
30	37,95a	-8,52a	18,98a	4,25ab
60	44,13b	-7,59b	22,05a	8,97bc
100	48,88b	-6,59c	24,35a	14,30c
Desvio padrão	1,98	0,25	3,58	2,31
CV (%)	4,72%	3,13%	17,15%	33,62%

*Médias seguidas pela mesma letra, na vertical, não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste Tukey ($\alpha=5\%$).

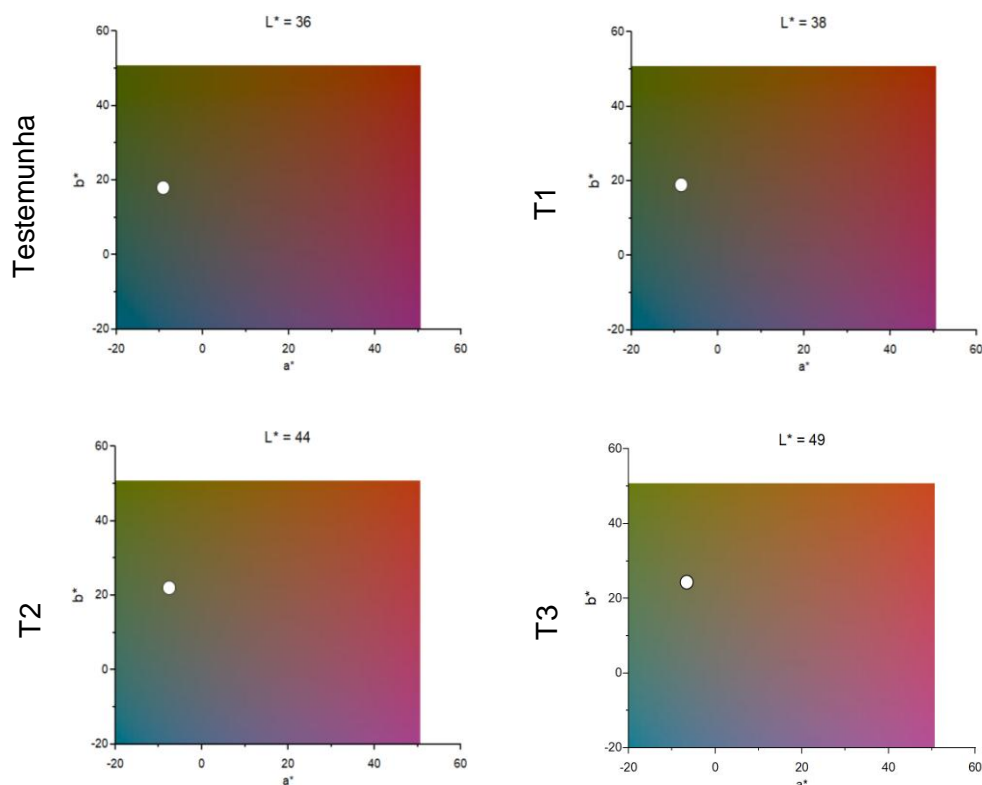


Figura 3. Demonstração gráfica das distribuições de cores para Luminosidade (L^*), verde (a^*), amarelo (b^*), médias entre os tratamentos, após 10 dias de infestação. Infestações: Testemunha=0; T1=30; T2=60 e T3=100, ácaros por folíolo de soja.

A Figura 3, apresenta gráficos contendo as médias de cores, em cada tratamento, após 10 dias de infestação, para demonstrar as diferenças colorimétricas, observadas em cada tratamento, no momento da leitura. Comparando-se a testemunha com os demais tratamentos, pode-se notar que a testemunha, se aproxima da tonalidade verde escura, enquanto nos tratamentos, tendem-se a ficar próximos dos tons amarelados, à medida que o grau de infestação aumenta.

É possível observar que as variáveis, L^* e a^* , exercem influência na caracterização de cor das folhas. Elas apresentam desvio padrão e coeficiente de variação, relativamente baixos. A variável Luminosidade (L^*), apresentou diferença apenas entre os tratamentos com os níveis de 30 e de 60 ácaros. No entanto, a variável verde (a^*) apresentou maior influência na diferenciação de cor, entre os tratamentos, sendo possível diferenciar os níveis de 30, de 60 e de 100 ácaros, por folíolo. Para as médias de ΔE^* , houve diferenças apenas entre os tratamentos com 30 e com 100, ácaros por folíolo.

Na Figura 4, é ilustrado os resultados, da análise de regressão linear, para os valores de L^* , de a^* e de b^* , para estabelecer conexões entre as matrizes de dados (CIE- $L^*a^*b^*$), e os valores de referência (Y – Níveis de Infestação). Buscou-se descrever a

relação entre as duas variáveis. As análises de regressão, revelaram uma relação significativa, para os valores de (L^*) e de (a^*) (p-valor<0,05).

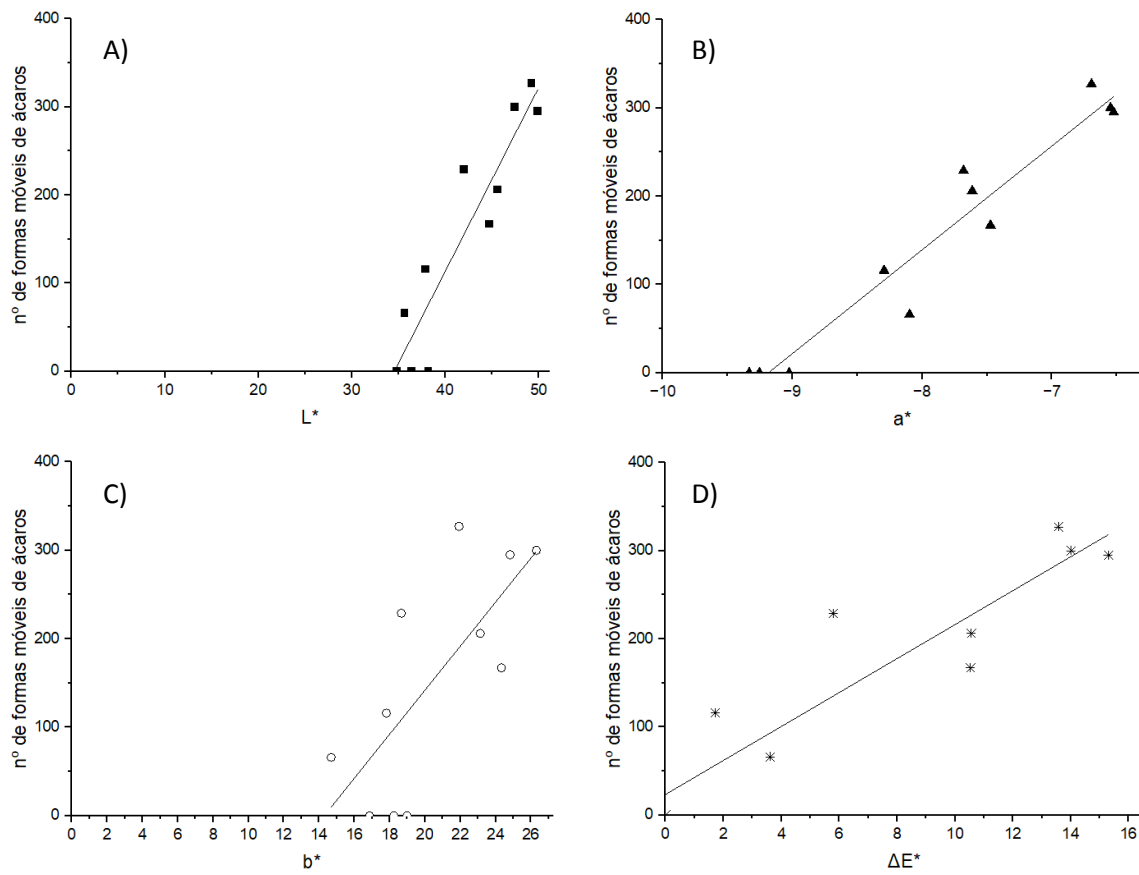


Figura 4. Dependências lineares entre A) Luminosidade L^* , B) verde a^* , C) amarelo b^* e D) diferença de cor ΔE^* , para número de formas móveis de ácaros.

Na Tabela 2, são apresentados os coeficientes de correlação e de determinação, para as variáveis Luminosidade (L^*), verde (a^*), amarelo (b^*) e, em relação ao número de formas móveis de ácaros. No coeficiente de correlação (r), os valores de (L^*) e (a^*) foram altos (0,931 e 0,967, respectivamente), enquanto o valor de b^* , foi moderado (0,73868). No coeficiente de determinação (r^2), os valores de L^* , de a^* e de b^* foram 0,868, 0,934 e 0,546, respectivamente, sendo os valores para (a^*) alto, (L^*) moderado e (b^*) baixo.

Após plotados os gráficos, foram gerados os modelos para as variáveis Luminosidade (L^*) (Eq. 1), verde (a^*) (Eq. 2), amarelo (b^*) (Eq. 3) e diferença de cor (ΔE^*) (Eq. 4). Foram utilizados um primeiro conjunto de dados, para calibração das equações, contendo cerca de 70% das amostras. A seguir, encontram-se as equações calibradas.

Tabela 2. Coeficiente de correlação (r) e Coeficiente de Determinação (r^2) das regressões lineares, para L^* , para a^* e para b^* .

	L^*	a^*	b^*
Coeficiente de Correlação (r)	0,931	0,967	0,739
Coeficiente de Determinação (r^2)	0,867	0,934	0,546

Após plotados os gráficos, foram gerados os modelos para as variáveis Luminosidade (L^*) (Eq. 1), verde (a^*) (Eq. 2), amarelo (b^*) (Eq. 3) e diferença de cor (ΔE^*) (Eq. 4). Foram utilizados um primeiro conjunto de dados, para calibração das equações, contendo cerca de 70% das amostras. A seguir, encontram-se as equações calibradas.

$$n^{\circ} \text{ de ácaros} = 20,842(\text{valor da Luminosidade}) - 720,38 \quad (1)$$

$$n^{\circ} \text{ de ácaros} = 117,46(\text{valor do verde}) + 1079,2 \quad (2)$$

$$n^{\circ} \text{ de ácaros} = 24,87(\text{valor do amarelo}) - 355,39 \quad (3)$$

$$n^{\circ} \text{ de ácaros} = 19,27(\text{valor do } \Delta E) + 23,536 \quad (4)$$

Por meio das análises, de variância e de regressão, verificou-se que a variável de cor verde (a^*), apresenta a melhor relação para estimar o número de formas móveis de ácaros, em folhas de soja. Assim, apenas uma equação, para a determinação do número de formas móveis de ácaros, foi validada [Eq.(2)].

Para uma melhor classificação dos dados, realizou-se uma segunda análise, utilizando técnicas de clusterização (Figura 5). Avaliou-se o potencial, para classificação dos níveis de infestação, em grupos. Com isso, os níveis de infestação foram divididos em três faixas, onde o número de elementos em cada faixa é semelhante. Assim, obteve-se as faixas apresentadas (Tabela 3).

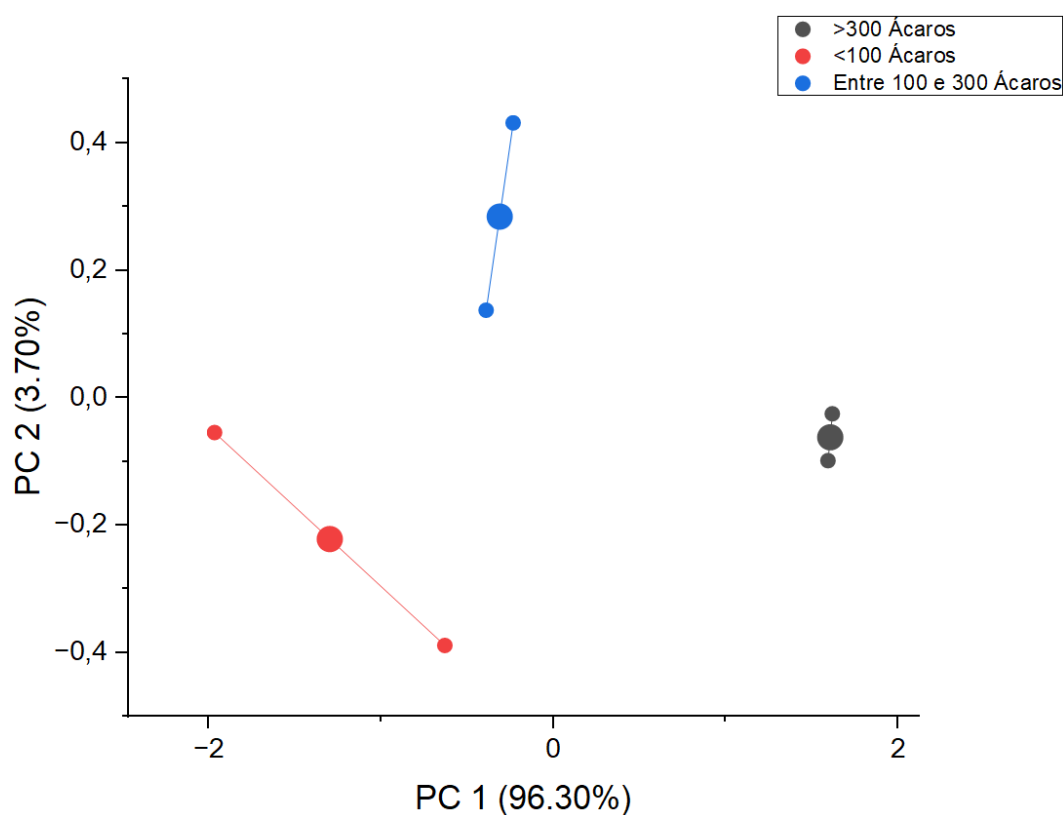


Figura 5. Classificação das infestações finais em clusters.

Tabela 3. Agrupamento dos níveis de infestação final e valores de (a^*), em clusters.

Valores de cor verde (a^*)	n° de formas móveis de ácaros
$\geq -6,55$	≥ 300
$\leq -8,29$	≤ 100
Entre -8,29 e -6,55	Entre 100 e 300

Para validar as previsões do modelo, foi utilizado um segundo conjunto de dados, previamente separado, contendo aproximadamente 30% das amostras, usado para avaliar o desempenho da equação, na previsão de amostras desconhecidas. Usando as medidas de validação, no modelo calibrado, estimou-se uma quantidade de ácaros próxima das medidas reais. O número previsto, de formas móveis, de ácaros associados a variável verde (a^*), se encontrou dentro dos valores dos grupos criados (Tabela 3).

Discussão

Os valores da variável (L^*), nos tratamentos, indicaram um aumento na luminosidade foliar, com o aumento dos níveis de infestação. Observou-se que à medida que o número de ácaros, por infestações nas folhas, aumentava, sua luminosidade também aumentava. Uma maior luminosidade das folhas está relacionada, com os diversos compostos bioquímicos, como água, clorofilas e carotenoides. Concentrações mais baixas de clorofila, reduzem o uso da luz solar, pela planta (fotossíntese), aumentando assim, a reflexão da luz captada pelo aparelho (Ustin & Jacquemoud, 2020).

Amarante et al. (2009), realizando medições com colorímetro, em folhas de uva, relata que houve aumento na cor das folhas com o incremento de clorofilas a, b e totais, indicando alterações do verde-amarelado para verde intenso. Aqueles autores observaram também, que os valores de luminosidade L^* , reduziram com o aumento nos teores de clorofilas a, b e totais, nas folhas, indicando redução no brilho. O inverso, foi relatado no presente trabalho, onde os valores de L^* , aumentam à medida que se aumenta os níveis de infestação.

Os parâmetros de cor verde (a^*), mostraram que são fortemente influenciados, pela densidade de ácaros, resultando em diferenças nas medidas realizadas. Segundo Meir et al. (1992), as diferenças nos valores de (a^*), são resultado de mudanças na concentração de clorofila, à medida que as folhas perdem sua cor verde. Os ácaros se alimentam do conteúdo celular, na face abaxial das folhas, resultando na redução da clorofila foliar. Com o aumento da densidade, do ácaro-rajado, e da duração do período de alimentação, as injúrias resultam em clorose nas folhas (Iatrou et al., 1995). Os valores de (a^*), mostraram-se mais positivos, nos estágios finais da clorose.

Diversos estudos identificam alterações, de cores em folhas, devido ao estresse ocasionado por *T. urticae* e são relatados, por Fraulo, Cohen & Liburd, (2009), em

morango, Lan et al. (2013), em algodão, Luedeling et al. (2009), em pêssego e Herrmann et al. (2012), em pimenta. O uso do espaço de cor CIE- L^*a^*b , oferece a possibilidade de estimar o número de formas móveis, de ácaros, por medição através das alterações de cor das folhas.

O agrupamento por clusterização, apresentou resultados satisfatórios. Por meio do agrupamento é possível obter classificações homogêneas, dentro de um mesmo grupo. Com esse método, torna-se fácil classificar a quantidade de ácaros, que melhor representam os valores de cor para verde (a^*).

Assim, a utilização do espectrofotômetro para estimar o número de formas móveis, de ácaros em folhas de soja, se mostra uma ferramenta importante, no processo de aferição dos níveis populacionais da praga, em áreas com grande extensão territorial, além de auxiliar os técnicos com estimativas rápidas e precisas.

Conclusão

A técnica colorimétrica, utilizando-se a variável (a^*), é eficaz na diferenciação dos graus de infestação.

O modelo utilizado, para estimar o número de ácaros, em folhas de soja, tem potencial para ser aplicado em folhas de soja, em campo.

O uso do espaço de cor CIE- L^*a^*b , oferece a possibilidade de estimar o número de formas móveis de ácaros, medindo-se as mudanças de cor nas folhas.

Referências

AMARANTE, C. V. T.; ZANARDI, O. Z.; MIQUELOTO, A.; STEFFENS, C. A.; ERHART, J.; DE ALMEIDA, J. A. Non-destructive quantification of area and chlorophyll Content in the leaves of young 'cabernet sauvignon' grapevines. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 3, p. 680-686, 2009.

CARVALHO, S. F. X. de. F. **Impregnação de cor em madeira**. 2008. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia e Construção, Universidade do Minho, Portugal.

COMMISSION INTERNATIONALE DE L'ÉCLAIRAGE. **Colorimetry**. 2nd ed. Wien: Central Bureau of the CIE; 1986. (Publ. CIE; 15.2).

DE ARAÚJO, C. R. N.; DO AMARAL, F. H. F.; BRANDÃO, I. R. S.; PEREIRA, T. E. R.; SANTOS, V. C. THE TRANSVERSALITY OF THE ENVIRONMENTAL THEME: THE USE OF PESTICIDES IN THE PLANTING OF SOYBEANS AND THE IMPACTS ON BIODIVERSITY. **International Journal Semiarid**, v. 5, n. 5, 2022.

DE CARVALHO, N. L.; DE BARCELLOS, A. L.; BUBANS, V. E. Ácaros fitófagos em plantas cultivadas e os fatores que interferem em sua dinâmica populacional. **Revista Técnico Científica do IFSC**, v. 2, n. 7, p. 04-17, 2018.

FRAULO, A. B.; COHEN, M.; LIBURD, O. E. Visible/near infrared reflectance (VNIR) spectroscopy for detecting twospotted spider mite (Acari: Tetranychidae) damage in strawberries. **Environmental entomology**, v. 38, n. 1, p. 137-142, 2009.

GUEDES, J. V.; NAVIA, D.; LOFEGO, A. C.; DEQUECH, S. T. Mites associated with soybean crop in Rio Grande do Sul State, Brazil. **Neotropical entomology**, v. 36, p. 288-293, 2007.

HERRMANN, I.; BERENSTEIN, M.; SADE, A.; KARNIELI, A.; BONFIL, D. J.; & WEINTRAUB, P. G. Spectral monitoring of two-spotted spider mite damage to pepper leaves. **Remote Sensing Letters**, v. 3, n. 4, p. 277-283, 2012.

IATROU, G.; COOK, C. M.; STAMOU, G.; & LANARAS, T. Chlorophyll fluorescence and leaf chlorophyll content of bean leaves injured by spider mites (Acari: Tetranychidae). **Experimental & applied acarology**, v. 19, n. 10, p. 581-591, 1995.

KONICA MINOLTA SENSING. **Comunicação precisa da cor**: controle de qualidade da percepção à instrumentação. Japão, 1998.

LAN, Y.; ZHANG, H.; HOFFMANN, W. C.; & LOPEZ, J. J. D. Spectral response of spider mite infested cotton: Mite density and miticide rate study. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 6, n. 1, p. 48-52, 2013

LUEDELING, E.; HALE, A.; ZHANG, M.; BENTLEY, W. J.; & DHARMASRI, L. C. Remote sensing of spider mite damage in California peach orchards. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, n. 4, p. 244-255, 2009.

MEIR, S.; PHILOSOPH-HADAS, S.; GLOTER, P.; AHARONI, N. Nondestructive assessment of chlorophyll content in watercress leaves by a tristimulus reflectance colorimeter. **Postharvest Biology and Technology**, v. 2, n. 2, p. 117-124, 1992.

NANSEN, C. The potential and prospects of proximal remote sensing of arthropod pests. **Pest Management Science**. 72: 653–659. 2016

RIBEIRO, A. C. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. Aproximação**. Comissão de Fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999.

USTIN, S. L.; JACQUEMOUD, S. How the optical properties of leaves modify the absorption and scattering of energy and enhance leaf functionality. In: **Remote sensing of plant biodiversity**. Springer, Cham, 2020. p. 349-384.

VILHALVA, D. A. A.; SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; SILVA, F. A. D. Secagem convencional de casca de mandioca proveniente de resíduos de indústria de amido. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 331-339, 2012.