

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALEX ROGERS AGUIAR ZANIN

**REDUÇÃO DE QUANTIDADE DE AGROTÓXICOS EM ÁREAS EXTENSIVAS DE
SOJA E MILHO PELA APLICAÇÃO LOCALIZADA EM TEMPO REAL**

CHAPADÃO DO SUL – MS

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CAMPUS DE CHAPADÃO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

ALEX ROGERS AGUIAR ZANIN

**REDUÇÃO DE QUANTIDADE DE AGROTÓXICOS EM ÁREAS EXTENSIVAS
DE SOJA E MILHO PELA APLICAÇÃO LOCALIZADA EM TEMPO REAL**

Orientador: Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio

Monografia apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como parte dos requisitos para a qualificação no mestrado em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

CHAPADÃO DO SUL – MS

2021



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

DISCENTE: Alex Rogers Aguiar Zanin

ORIENTADOR: Dr. Fabio Henrique Rojo Baio

TÍTULO: Redução da quantidade de defensivos em áreas de soja e milho pela aplicação localizada em tempo real

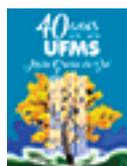
AVALIADORES:

Prof. Dr. Presidente Fabio Henrique Rojo Baio

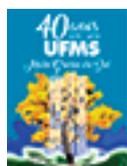
Prof. Dr. Rone Batista de Oliveira

Prof. Dr. Ulisses Rocha Antuniassi

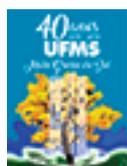
Chapadão do Sul, 10 de fevereiro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Fabio Henrique Rojo Baio, Professor do Magisterio Superior**, em 10/02/2021, às 16:40, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **RONE BATISTA DE OLIVEIRA, Usuário Externo**, em 10/02/2021, às 16:48, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ulisses Rocha Antuniassi, Usuário Externo**, em 10/02/2021, às 16:52, conforme horário oficial de Mato Grosso do Sul, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufms.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2402260** e o código CRC **D58F7A4E**.

DEDICATÓRIA

Dedico essa dissertação a minha família, por sempre apoiar minhas decisões e estarem sempre ao meu lado com um amor incondicional e ao Sr. Francisco por toda orientação para as tomadas de decisões.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fábio Henrique Rojo Baio e a instituição Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a deus por toda sua benção em minha vida e as oportunidades oferecidas até este momento.

A empresa Agricultura Inteligente, em especial o Me. Eng. Agrônomo Danilo Neves por todo apoio prestado para que esse trabalho fosse realizado e ao Me. Eng. Agrônomo Eder Eujácio por toda assistência prestada para esse trabalho.

A minha irmã Isa Caroline Aguiar Zanin por ter tirado um pouco do seu tempo para a contribuição dessa dissertação.

Ao meu orientador Prof. Dr. Fábio H. R. Baio por todos os momentos de sabedoria e conhecimento.

E a fazenda do Grupo Nova Geração por todos os dados fornecidos.

EPÍGRAFE

O sucesso está fora da zona de conforto.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Talhões utilizados nas fazendas: (a) Cristiane e (b) Nova Geração	4
Figura 2. Ilustração das plantas daninhas em diferentes estágios fenológicos	5
Figura 3. Ilustração do sistema Weed-it instalado no pulverizador autopropelido John Deere modelo 4730	6
Figura 4. Mapas ilustrativos de distribuição de plantas daninhas e porcentagem de barra aberta durante a aplicação	10
Figura 5. Gráfico do espectro de gota formado pela ponta hidráulica utilizada.....	11
Figura 6. Redução percentual de defensivos agrícolas pelo uso do equipamento para aplicação localizada de defensivos em tempo real nas culturas de soja e milho	13
Figura 7. Redução percentual de defensivos agrícolas para o cultivo da soja	14
Figura 8. Redução percentual de defensivos agrícolas nas quatro primeira aplicação no cultivo do milho	16

LISTA DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1. Número de aplicações em cada cultura avaliada.....	7
Tabela 2. Produtividade histórica de soja e milho das fazendas avaliadas.....	11
Tabela 3. Quadro da análise da variância para os tratamentos em estudo	12
Tabela 4. Produtividade histórica de soja e milho das fazendas avaliadas.....	16
Tabela 5. Custo do equipamento utilizado para a aplicação localizada e custo dos produtos aplicados sobre a cultura da soja em duas safras.....	17
Tabela 6. Custo dos produtos aplicados sobre a cultura do milho em duas safras.	18
Tabela 7. Custo por hectare em cada atividade realizada sobre as culturas de soja e milho nas duas safras.	21

RESUMO

Atualmente, o grande foco do produtor é diminuir o custo da produção, visando a alta produtividade e, assim, elevar o lucro da fazenda. Como hipótese do trabalho, avaliamos se há redução de defensivos agrícolas pelo uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real, aplicados sobre as culturas de soja e milho. O objetivo desse trabalho foi quantificar a redução de defensivos aplicados sobre a cultura de soja e milho, pelo uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real. O experimento ocorreu durante as safras agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020, em duas propriedades, no município de Mineiros – GO. Cada propriedade utilizava o pulverizador autopropelido John Deere modelo 4730. Nos pulverizadores foi instalado o sistema de aplicação localizada com sensores de detecção e aplicação em tempo real Weed-It. Foram realizadas aplicações nas culturas de soja, na primeira safra ou cultivo de verão, e de milho após soja na modalidade de segunda safra ou safrinha. Foram realizadas quatro aplicações em cada cultura: sendo na cultura da soja as atividades de dessecação, pré-plantio, 1ª aplicação pós emergente e desfolha; e na cultura do milho as atividades de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª aplicações em pós emergência. Os mapas das aplicações foram gravados pelo controlador eletrônico de pulverização do equipamento. Todas as planilhas de aplicação e mapas de aplicação foram extraídas para as análises estatísticas. Esses mapas gravaram o percentual em aplicação da barra, que foi ligada (*on/off*) com controle bico a bico. Os dados foram processados no programa ArcGis 10.5. Foi realizado um levantamento dos custos e cálculo da viabilidade econômica do equipamento utilizado. O uso do equipamento para aplicação localizada em tempo real proporciona redução da quantidade de defensivos utilizados nas culturas de soja e milho, mesmo nas aplicações de outros defensivos agrícolas, como inseticidas e fungicidas, ou seja, traz redução de defensivos mesmo em aplicações em pós emergência dessas culturas. Há maior redução da quantidade de insumo aplicado em condição de pós-emergência das culturas de soja e milho nos estádios iniciais, quando ainda a cultura possui menor área foliar, ou menor recobrimento das entrelinhas. Mesmo havendo necessidade de um maior investimento inicial para aquisição do equipamento para aplicação localizada de defensivos, a redução de custo pelo uso dessa tecnologia foi 2,28 vezes menor, quando comparada à aplicação em área total. Não houve, nas condições experimentais aplicadas, diferenças na produtividade histórica das culturas de soja e milho pela aplicação dessa tecnologia, pois as doses recomendadas não foram afetadas, somente o local da aplicação naqueles pontos onde as plantas eram detectadas.

ABSTRACT

Currently, the producer's primary focus is to reduce the production cost, aiming at high productivity and, thus, increase the farm's profit. As a hypothesis of the work, we evaluated if there is a reduction of pesticides by using real-time spray application applied to soybean and corn crops. This work's objective was to quantify the reduction of pesticides applied to soybean and corn crops by using real-time spray application. During the 2018/2019 and 2019/2020 crops, the experiment took place in two properties, in the municipality of Mineiros - GO. Each property used the John Deere self-propelled sprayer model 4730. In both sprayers, the real-time spray application system with plant detection sensors included Weed-It was installed. Applications were made in soybean crop, in the first season crop or summer crop, and corn after soybean as the second-year crop. Four applications were carried out in each crop period: in the soybean, the spray activities were desiccation, pre-planting, 1st application after emergence and defoliation; and in the corn crop, the spray activities were the 1st, 2nd, 3rd and 4th applications in post-emergence. The equipment's electronic spray controller recorded the application maps. All data of the spray applications and application maps were extracted for statistical analysis. These spray maps recorded the spray boom percentage of the spray applied, turned on (on/off principle) with the nozzle to nozzle control. The data were processed using the ArcGis 10.5 software. A cost survey was carried out, and the economic analyses of the equipment used were calculated. For the soybean crop, the most significant reductions in pesticides were in applications for desiccation and pre-planting, at around 75%. There was a decrease in the reduction activities for the 1st spray application and defoliation activities, coming close to 50%, with an overall average of 70% reduction for the soybean crop. In the corn crop, the 1st, 2nd, and 3rd spray applications presented the highest reduction averages, close to 55%. For the spraying of the 4th application in the corn crop, the reduction average showed a reduction, close to 35%, thus presenting an overall average of 50% reduction for the soybean crop. According to the equipment used's economic feasibility analysis, savings of 69.16% were achieved in products applied to soybean and corn crops in two evaluated harvests, showing a return on the investment made.

SUMÁRIO

Pág.

RESUMO	1
INTRODUÇÃO	2
MATERIAL E MÉTODOS.....	3
Área experimental	3
Aplicação localizada em tempo real	5
Aplicações.....	7
Variáveis avaliadas.....	8
Análise estatística	8
Viabilidade econômica	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO	9
CONCLUSÃO	22
REFERÊNCIAS	22

REDUÇÃO DE DEFENSIVOS EM ÁREAS EXTENSIVAS DE SOJA E MILHO PELA APLICAÇÃO LOCALIZADA EM TEMPO REAL

RESUMO

Atualmente, o grande foco do produtor é diminuir o custo da produção, visando a alta produtividade e, assim, elevar o lucro da fazenda. Como hipótese do trabalho, avaliamos se há redução de defensivos agrícolas pelo uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real, aplicados sobre as culturas de soja e milho. O objetivo desse trabalho foi quantificar a redução de defensivos aplicados sobre a cultura de soja e milho, pelo uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real. O experimento ocorreu durante as safras agrícolas de 2018/2019 e 2019/2020, em duas propriedades, no município de Mineiros – GO. Cada propriedade utilizava o pulverizador autopropelido John Deere modelo 4730. Nos pulverizadores foi instalado o sistema de aplicação localizada com sensores de detecção e pulverização em tempo real Weed-It. Foram realizadas aplicações nas culturas de soja, na primeira safra ou cultivo de verão, e de milho após soja na modalidade de segunda safra ou safrinha. Foram realizadas quatro aplicações em cada cultura: sendo na cultura da soja as atividades de dessecação, pré-plantio, 1ª aplicação pós emergente e desfolha; e na cultura do milho as atividades de 1ª, 2ª, 3ª e 4ª aplicações em pós emergência. Os mapas das aplicações foram gravados pelo controlador eletrônico de pulverização do equipamento. Todas as planilhas de aplicação e mapas de aplicação foram extraídas para as análises estatísticas. Esses mapas gravaram o percentual em aplicação da barra, que foi ligada (*on/off*) com controle bico a bico. Os dados foram processados no programa ArcGis 10.5. Foi realizado um levantamento dos custos e cálculo da viabilidade econômica do equipamento utilizado. Para a cultura da soja as maiores reduções, no uso de defensivo agrícola, foram nas aplicações para dessecação e pré-plantio, em cerca de 75%. Para as atividades de 1ª aplicação e desfolha houve uma queda nas de redução, ficando próximo a 50 %, tendo uma média geral de 70 % de redução para a cultura da soja. Na cultura do milho, as atividades de 1ª, 2ª e 3ª aplicações apresentaram as maiores médias de redução, ficando próximo a 55%. Para a pulverização da 4ª aplicação na cultura do milho a média de redução apresentou uma redução, ficando próximo a 35%, assim apresentando uma média geral de 50 % de redução para a cultura da soja. Segundo a análise de viabilidade econômica do equipamento utilizado, foi alcançada uma economia de 69,16% em produtos aplicados sobre a cultura de soja e milho em duas safras avaliadas, apresentando a retorno sobre o investimento realizado.

Palavras-chave: Redução de Custo, *Glicine max*, *Zea mays*

INTRODUÇÃO

No contexto do mercado, o preço varia em função da oferta e da demanda para a maioria dos produtos agrícolas, não sendo assim possível ao agricultor controlar essa variável quando for de sua necessidade. Desta forma, a única maneira do agricultor elevar a rentabilidade obtida com seu cultivo é diminuindo os custos de produção, sem comprometer produtividade da cultura ou aumentar o risco da atividade. A agricultura de precisão tem como um dos seus objetivos aumentar a eficiência do uso de máquinas e insumos, visando melhorar a produtividade, a rentabilidade e o impacto ambiental da atividade (Schieffer e Dillon, 2015). A agricultura de precisão permite uma melhoria do manejo de produção agrícola, com práticas dentro do campo, e requer uma avaliação precisa das variações espaciais em escalas finas de resolução (Jurado et al., 2019). Essa tecnologia pode ser aplicada no uso de vários insumos, como herbicidas, uma vez que também há variabilidade espacial no crescimento de plantas daninhas.

O mal uso de herbicidas está relacionado com, pelo menos, três principais problemas: a aplicação de herbicidas no estágio fenológico inadequado; aplicação de herbicidas sem considerar o nível de infestação; e aplicação de herbicidas em lugares livres de plantas daninhas (Lopez et al., 2016). O primeiro e segundo problema podem ser resolvidos com conhecimento técnico do produtor ou consultor, porém para o terceiro se faz viável um planejamento estratégico e o uso de ferramentas que possam resolvê-lo. Assim uma das alternativas seria o manejo de plantas daninhas com a aplicação localizada de herbicidas, que reduz potencialmente a quantidade aplicada sobre o solo e no ambiente (Manandhar et al., 2020).

As plantas daninhas têm uma distribuição irregular e implica no fato de certas regiões do campo estarem livres ou abaixo do nível de dano econômico (Balastreire e Baio, 2001). Essa variabilidade espacial é passível de ser mapeada, permitindo a tomada de decisão sobre o melhor manejo para o controle em cada local. Existem diversas formas de mapeamento da variabilidade espacial das plantas daninhas, que podem ser feitas tanto por imagens de satélite, quanto por aeronaves não pilotadas ou pilotadas, ou por sensores de detecção instantânea ou até mesmo manualmente (Barrero e Perdomo, 2018). Cabe observar o investimento e a necessidade do manejo desejado. O uso de ARP (aeronave remotamente pilotada), para o mapeamento de plantas daninhas, tem um amplo proveito para culturas de plantio em linhas e de espaçamento relativamente largo, permitindo sua detecção entre as fileiras de plantio. Já o mapeamento de plantas daninhas para a dessecação de pré-plantio não é muito aplicável, devido à dificuldade

em se mapear plantas daninhas recém emergidas ou com pouca área foliar (Rasmussen et al., 2019).

Os dados de sensores a bordo de plataformas satelitais, muitas vezes, não são adequadas para o mapeamento de plantas daninhas, devido a suas baixas resoluções espaciais e temporais (Jurado et al., 2019). Assim, a utilização de equipamentos para a detecção instantânea de plantas daninhas oferece vantagens em sua utilização, devido aos sistemas de aplicação localizada em tempo real. Sendo essas vantagens, a realização do trabalho sem o auxílio do mapa prescrito, em uma única operação, sem custos com mão-de-obra adicional e sem gestão de dados.

Biller et al. (1997) desenvolveram uma das primeiras pesquisas envolvendo aplicação localizada de herbicidas em tempo real e propuseram a utilização de usos de sensores eletrônicos para detecção de plantas daninhas. Pois, segundo esses autores, os sensores e as plantas verdes apresentam características de reflectância diferentes quando comparadas ao solo ou outras culturas. Assim, as aplicações são baseadas no comportamento espectral das plantas.

Em estudos sobre a aplicação localizada de herbicidas, com uso de equipamento de aplicação em tempo real, Dammer e Wartenberg (2007) obtiveram redução de 12,7 % a 40,9 %, comparado com a pulverização convencional em área total. De acordo com Molin et al. (2015) e Carneiro et al. (2020), o uso de sensores na aplicação localizada têm demonstrado um maior potencial de desenvolvimento na agricultura de precisão.

Todavia, será que esse tipo de equipamento, para a aplicação localizada em tempo real, é capaz de trazer redução do uso de outros defensivos agrícolas, além dos herbicidas, aplicados nas culturas de soja e milho em seus estádios iniciais? Considerando que, quando essas culturas estão nessas condições, não recobrem totalmente o campo, havendo então a possibilidade da pulverização somente nas folhas das plantas e não diretamente no solo. Assim, o objetivo desse trabalho foi quantificar a redução de agrotóxico aplicados sobre a cultura de soja e milho em várias etapas do ciclo produtivo, pelo uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real.

MATERIAL E MÉTODOS

Área experimental

Os dados analisados foram das aplicações de defensivos em duas fazendas (Figura 1) durante as safras 2018/2019 e 2019/2020, no município de Mineiros – GO. Sendo então as fazendas Nova Geração, com sede localizada na latitude 18° 29' 06,26" Sul e longitude 53° 10' 23,08" Oeste, à 815m de altitude, e a fazenda Cristiane, com sede localizada na latitude 18° 08'

21,06'' Sul e na longitude 53° 10' 48,18'' Oeste, à 810m. Ambas fazendas com tipo de solo de latossolos vermelho-amarelos distróficos e declividade de 1,5% a 2%, com sistema de cultivo plantio direto, com precipitação média anual de 2 milímetros.



Figura 1. Talhões utilizados nas fazendas: (A) Cristiane e (B) Nova Geração.

Os materiais utilizados no cultivo da soja foram as variedades Desafio e Foco da empresa Brasmax Genética, nas safras 2018/2019 e 2019/2020, respectivamente, e foram semeadas com espaçamento de 0,45 m e com a população de 300 mil plantas por hectare. Os materiais genéticos utilizados no cultivo do milho na segunda safra foram as variedades 2A401 PW e CD3612 PW da empresa Brevante Sementes e foram semeadas com espaçamento de 0,90 m e com população de 57 mil plantas por hectare.

Os manejos com o uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real foram semelhantes nas duas fazendas, nas quais as aplicações ocorreram em toda sua área cultivada de soja e milho, sendo na fazenda Nova Geração 2.642 ha, dividido em 20 talhões (variando de 21 a 262 ha) e, na fazenda Cristiane, as aplicações também ocorreram em toda sua área, sendo 1.060 ha, dividido em 2 talhões (com 920 e 140 ha).

Para fins ilustrativos, na Figura 2 está apresentado diferentes estágios fenológicos de plantas daninhas nos talhões das fazendas, onde foi possível constatar que houve a presença de plantas daninhas em estádios iniciais isolados ou em reboleiras e, também, plantas daninhas em estádios bastante avançados, isoladas ou em reboleiras.

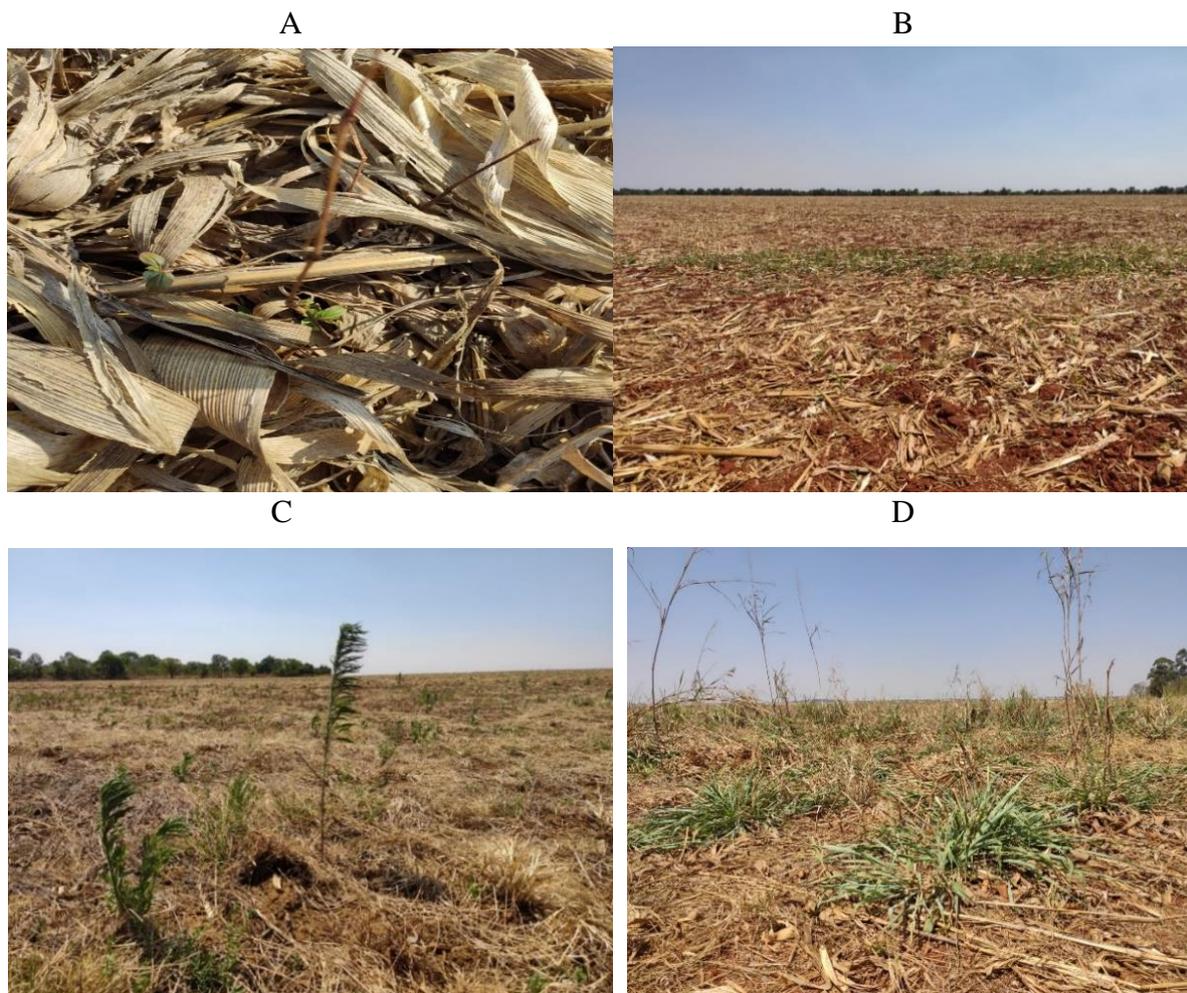


Figura 2. Ilustração das plantas daninhas em diferentes estádios fenológicos: a imagem (A) contém plantas daninhas em estágio inicial, imagem (B) reboleira de plantas daninhas em estágio inicial, imagem (C) plantas daninhas em estágio bastante avançado e imagem (D), reboleira de plantas daninhas em estágio bastante avançado.

Aplicação localizada em tempo real

Para a execução do experimento foi utilizado um pulverizador autopropelido John Deere modelo 4730, equipado com um depósito de calda com capacidade de 3.000 L, barra com 36 m e com ponta hidráulica tipo jato ampliado de aço inox Teejet modelo 4003 com vazão $1,1 \text{ L min}^{-1}$, na pressão de trabalho à 2,8 Bar (280 kPa). Nesse pulverizador contém o equipamento Weed-it do fabricante Smart Sensing, que é um sistema de aplicação localizada com sensores em tempo real para a detecção de plantas. Esse equipamento contém 36 sensores ao longo da barra, com espaçamento entre eles de 1 m, e cada sensor é constituído por 5 canais de detecção independente (Figura 3). Assim, cada sensor cobre uma largura de 0,20 m, sendo, esses sensores, instalados a uma altura de 0,60 a 0,80 m do alvo.



Figura 3. Ilustração do sistema Weed-it instalado no pulverizador autopropelido John Deere modelo 4730: imagem (A) sistema Weed-it em toda barra de pulverização, imagem (B) sensor de leitura Weed-it posicionado a frente da barra de pulverização e bicos com sistema PWM posicionado atrás da barra de pulverização.

O sistema embarcado para o controle de plantas daninhas trabalha com o método de detecção e pulverização instantâneas, através da abertura e fechamento das válvulas PWM (*pulse width modulation*), instaladas em cada bico pulverizador na barra. O sensor faz a quantificação da emissão de luz com propriedades fluorescentes das moléculas de clorofila, presentes nas folhas das plantas vivas (Smart Sensing, 2020). Portanto, o equipamento emite luz na banda do vermelho, com pico de emissão em 690 nm, e o sensor de fluorescência faz a leitura da luz irradiada pela clorofila no comprimento de onda um pouco maior (menor energia), próximo aos ~700nm (informação não compartilhada pelo fabricante), ou seja, comprimento de onda de excitação da clorofila A.

A clorofila excitada pode reemitir um fóton (para retornar ao seu estado base), chamado de fluorescência e, quando isso ocorre, o comprimento de onda da fluorescência é um pouco mais longo (menor energia) do que o comprimento de onda de absorção. Esse fato acontece devido a uma parte da energia ser convertida em calor antes da emissão do fóton fluorescente (Taiz e Zeiger, 2013). O sensor do equipamento faz a leitura com taxa de aquisição de 40 Hz (Smart Sensing, 2020).

O sistema PWM também possibilita que a taxa de aplicação seja constante, independente da velocidade de operação, pois controla a frequência de abertura e fechamento da válvula em função da velocidade de deslocamento (Bora et al., 2005). E, ainda, com a vantagem de manter a pressão hidráulica constante sem alteração do tamanho da gota pulverizada. Essas válvulas

PWM, usadas nesse sistema de aplicação localizada por sensor de pulso, atuam em uma frequência de 50 Hz.

Aplicações

Foram realizadas quatro atividades de pulverização em cada cultura (soja e milho), apresentadas conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Número de intervenções com uso do Weed-it em cada cultura avaliada.

ATIVIDADES	INTERVENÇÕES	ATIVIDADES	INTERVENÇÕES
	SOJA		MILHO
Dessecação	166	1ª Aplicação	141
Pré-Plantio	63	2ª Aplicação	144
1ª Aplicação	27	3ª Aplicação	97
Desfolha	58	4ª Aplicação	25
TOTAL	314	TOTAL	407

No cultivo da soja foram utilizadas as atividades de dessecação, pré-plantio, 1ª aplicação pós emergente e desfolha, e essas intervenções de dessecação ocorreram no mês de setembro, contendo apenas plantas daninhas e restos culturais sobre a área pulverizada. Já as intervenções de pré-plantio ocorreram no mês de outubro, em geral três a sete dias antes do plantio, e em sucessão a atividade de dessecação.

Assim, as intervenções da 1ª aplicação pós-emergente, ocorreram em meados do mês de outubro e novembro variando de 15 a 30 dias após o plantio, dependendo da viabilidade do uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real, no talhão determinado, não ocorrendo em todos os talhões. Já as intervenções de desfolha ocorreram em meados do mês de janeiro e fevereiro, conforme a necessidade da uniformização de final de ciclo para cada variedade de soja, não ocorrendo em todos os talhões.

O cultivo da cultura do milho ocorreu em sucessão a cultura da soja e todas as intervenções ocorreram após a semeadura. Assim, as atividades da 1ª aplicação ocorreram de três a sete dias após a semeadura e, as atividades da 2ª aplicação ocorreram de dez a 15 dias após a semeadura. Subsequentemente, as atividades da 3ª aplicação ocorreram de 15 a 30 dias após a semeadura e as atividades da 4ª aplicação ocorreram após 30 dias a semeadura. Porém, no ano de 2020, as atividades de 3ª e 4ª aplicação não ocorreram em todos os talhões, em decorrência ao atraso da semeadura do milho, por fatores climáticos.

Variáveis avaliadas

Após realizar todas as atividades de aplicação, com o uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real, foram acessadas todas as planilhas de aplicação da fazenda, contendo o talhão aplicado, a cultura, a data, a atividade realizada, a dose recomendada, a área aplicada e a quantidade aplicada com o uso do equipamento de pulverização.

Com base nessas informações, foi estimado o quanto seria aplicado sem o uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real, multiplicando a dose, recomendada pelo Engenheiro Agrônomo da fazenda, com a área aplicada naquela atividade específica. Dessa forma, foi comparado a quantidade aplicada com uso do equipamento, com a quantidade que seria aplicada sem o uso do equipamento, convertendo em porcentagem de redução para cada uma das atividades realizadas.

Assim, após realizar as aplicações, também foi exportado, do monitor do pulverizador, todos os mapas de aplicação e importado para o programa de visualização de mapa SMS Advanced da AG Leader, para serem tratados por aplicação para a visualização do mapa em VRT, com a porcentagem da barra aberta durante a aplicação.

Análise estatística

Os dados comparativos foram submetidos à análise da variância pelo programa estatístico Rbio (Bhering, 2017) e, então, as análises foram divididas entre as culturas da soja e milho e os tratamentos que apresentaram diferenças estatísticas foram submetidos ao teste de Duncan com probabilidade a 5% para comparação das médias. Assim, foram elaborados os gráficos de caixa para melhor comparação visual entre os tratamentos.

Viabilidade econômica

Foi realizado um levantamento dos custos para calcular a viabilidade econômica do equipamento utilizado e os insumos agrícolas utilizados que foram cotados no ano de 2020, em uma loja de referência no mercado local com a cotação de referência do dólar em R\$ 5,30 (B3, 2021).

Para o cálculo dos custos dos equipamentos foram considerados apenas os custos de depreciação (10% em taxa linear ao ano, com vida útil de 10 anos), e a taxa de juros anual (Finame em 6,5% ao ano), uma vez que todos os outros custos como reparo e manutenção tendem a ser iguais para ambas as configurações dos pulverizadores (com e sem o equipamento de aplicação em tempo real). O cálculo dos custos por área (\$ USD ha⁻¹) dependem da capacidade de campo operacional de ambas as configurações dos equipamentos, que por sua

vez, dependem da eficiência operacional de cada configuração. Foi considerado que pelo uso do equipamento de aplicação em tempo real, o número de abastecimentos durante o dia de trabalho é menor quando comparado com a aplicação com o pulverizador sem esse equipamento, portanto, a eficiência operacional do sistema contendo o sistema eletrônico foi considerada de 85%, em comparação aos 75% (Hunt, 2007) da aplicação sem o sensor. A análise econômica foi realizada comparando os resultados de campo com o sistema controle (sem o uso do sensor em tempo real). As especificações técnicas dos equipamentos foram obtidas nos prospectos dos fabricantes. A análise econômica foi realizada pela metodologia do orçamento parcial, na qual se estima o efeito da nova tecnologia na estrutura produtiva existente, ou seja, foram estimados apenas os custos que se alteram com a introdução da tecnologia (Kay et al., 2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o escopo de relatar os resultados foi elaborado um mapa com objetivo de ilustrar a variabilidade espacial das plantas na aplicação em dessecação para a semeadura (Figura 4) e, assim, foi constatado que há uma distribuição desuniforme ao longo do talhão que se desenvolve em reboleira, não atingindo a totalidade do talhão.

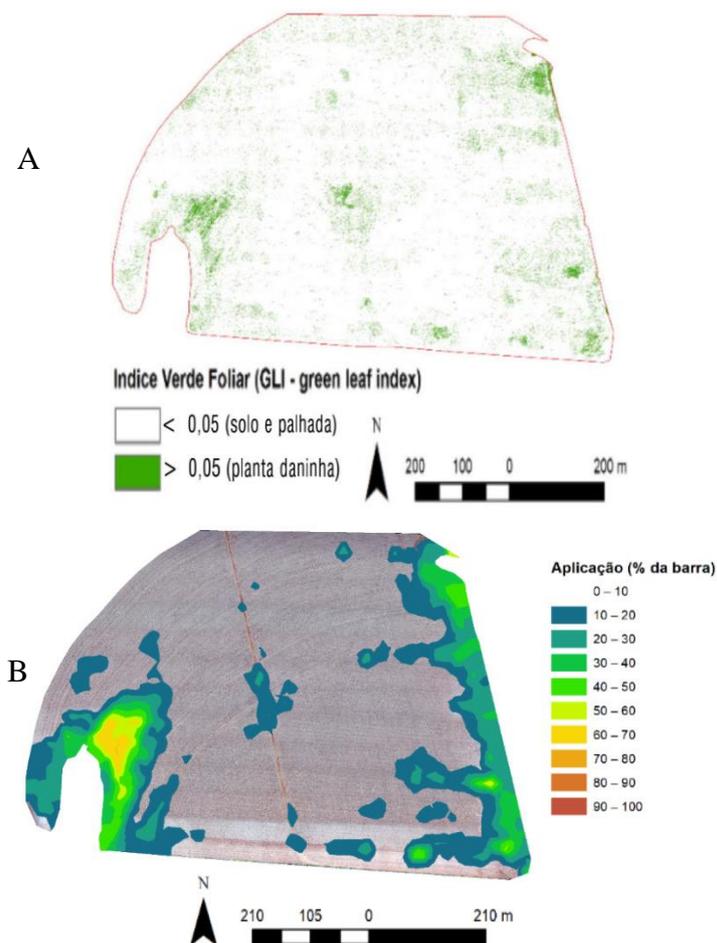


Figura 4. Mapas ilustrativos de distribuição de plantas daninhas e porcentagem de barra aberta durante a aplicação: (A) mapa da identificação espacial de plantas daninhas pelo índice verde; e mapa (B) de porcentagem de barra aberta durante a aplicação de dessecação.

Nota-se que o local que apresentou maior concentração de plantas daninhas foi o local que precisou de maior porcentagem de barra aberta, para o controle de plantas daninhas. Alguns locais apresentaram zero ou menor que 10 % de barra em operação, assim não precisando de uma aplicação com toda a barra aberta, como ocorre na aplicação sem o uso do sistema eletrônico de identificação das plantas em tempo real.

Foi realizada a análise do espectro de gotas formado pela ponta hidráulica utilizada em todas as aplicações (Figura 5). O espectro de gota formada pela ponta utilizada foi classificado de média à grossa, sendo dentro do padrão recomendado pelo fabricante do equipamento de aplicação localizada. A porcentagem de volume de gotas menor que 100 μm apresentou uma variação maior acima de 300 kPa e para a amplitude relativa não houve alta variação dos

valores. Para Baio et al. (2015), a amplitude relativa reporta a homogeneidade da população de gotas, sendo mais homogêneo o espectro de gotas que apresentam menor valor.

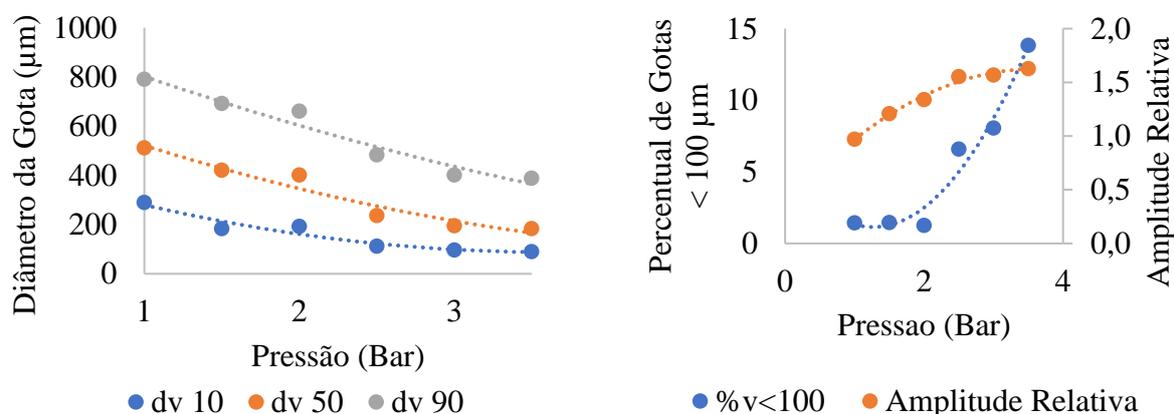


Figura 5. Espectro de gotas formado pela ponta hidráulica de uso ampliado Teejet 4003.

Foi realizada a análise comparativa da produtividade média das culturas de soja e milho em ambas as fazendas, em duas safras anteriores ao uso do equipamento para a aplicação localizada e nos dois anos de seu uso (Tabela 2). Quando comparado a produtividade da soja na fazenda com a aplicação convencional e com a aplicação localizada mostra que houve diferença estatística entre os anos, sendo o ano de 2017 com aplicação convencional e o ano de 2020 com aplicação localiza com as maiores médias, não diferindo estatisticamente entre si e para o ano de 2018 com aplicação convencional e 2019 com aplicação localizada apresentaram médias menores, porém não diferindo estatisticamente entre si também, e já para o milho não houve diferença estatística em nenhum dos anos. Com base nesses resultados de produtividade mostra que é possível produzir a mesma quantidade de soja e milho mesmo redução da quantidade de defensivos agrícolas utilizados para produção de soja e milho.

Tabela 2. Produtividade histórica de soja e milho das fazendas avaliadas.

Safr	Sistema	Soja		Milho	
		Produtividade (t ha ⁻¹)	Comp. Médias*	Produtividade (t ha ⁻¹)	Comp. Médias*
2017	Convencional	4202,1	a	7669,308	a
2018	Convencional	3828,8	b	7648,584	a
2019	Aplic. Localizada	3788,6	b	7504,584	a
2020	Aplic. Localizada	4208,1	a	6904,116	a

* Médias com as mesmas letras são iguais estatisticamente segundo o teste de Duncan a 95% de significância

De acordo com o quadro da análise da variância apresentado na Tabela 3, verificou-se que houve diferença significativa de redução na quantidade de produtos aplicados pelo equipamento de aplicação localizada em tempo real, segundo o teste F, a nível 5% de probabilidade, para todas as variáveis analisadas quando comparado com a aplicação convencional. Assim, destaca-se que houve uma diferença significativa, pois durante a comparação houve uma dispersão nos resultados da quantidade de defensivos aplicados na análise de variância, para as culturas analisadas, provando que há diferença na quantidade de uso de defensivos agrícolas quando se altera a cultura pelo equipamento de aplicação localizada em tempo real. Demonstrando a redução de defensivos pelo uso dessa tecnologia, Queiroz e Antuniassi (2006) reportam que há uma redução na quantidade de produtos aplicados por pulverização localizada, tanto com mapas georreferenciados, quanto com utilização de sensor de detecção de plantas daninhas em tempo real.

Tabela 3. Quadro da análise da variância para os tratamentos em estudo.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrados Médios	Valor F	p>F
aplicações na cultura da soja				
Tratamentos	3	7181	33,2	<0,001
Erro	167	216		
aplicações na cultura do milho				
Tratamentos	3	445	2,8	0,047
Erro	85	161		

Quando se compara a análise de variância dentro de cada cultura separada, constata-se que a dispersão da quantidade de redução de defensivos aplicados na cultura da soja é bem maior do que na cultura do milho. Portanto, há diferença espacial na distribuição de plantas daninhas entre as duas culturas, dado que o milho sucede a soja no mesmo local de cultivo. Como também, há um indício de alteração na dinâmica de crescimento das plantas daninhas em cada período do ano.

Quando quantificados esses valores, em cada cultura avaliada, tem-se uma média de redução próxima à 70% da quantidade de produtos utilizados na cultura da soja, pelo equipamento de aplicação localizada em tempo real. Assim, quando quantificados para o milho, essa média de redução da quantidade de produtos utilizados fica próximo a 50%, tendo uma

diferença de 20% entre as culturas analisadas. Então, essa diferença pode ser explicada pelo fato de que a maioria das aplicações ocorridas na cultura do milho foram pós sementeira, tendo em vista que o equipamento utilizado pulveriza sobre plantas vivas (Figura 6).

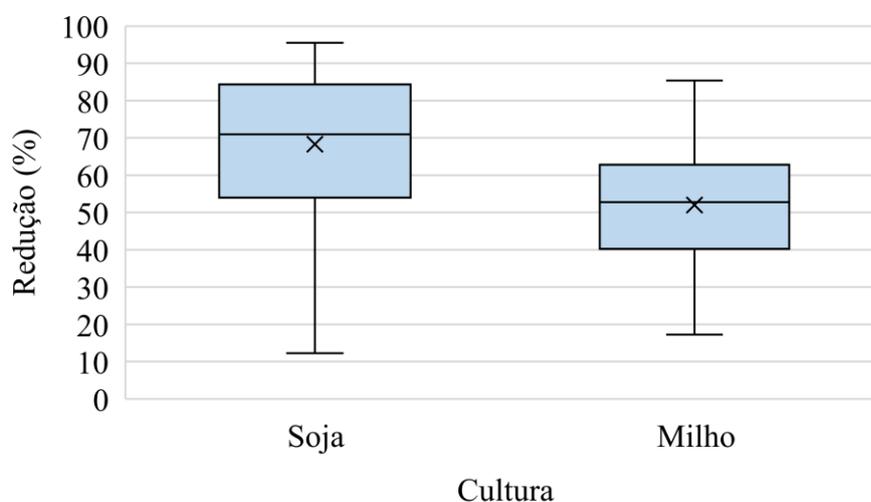


Figura 6. Redução percentual de defensivos agrícolas pelo uso do equipamento para aplicação localizada de defensivos em tempo real nas culturas de soja e milho.

Dessa forma, pela análise da Figura 6 é notória a diferença da variabilidade da quantidade de produtos reduzidos entre a cultura de soja e a de milho assim, pela observação constata-se que na cultura da soja a variabilidade é de 15% a 95%, na qual o percentil 25 está próximo a 55% e o percentil 75 estando mais próximo a 85%, ficando o percentil 50 estaria próximo a 71%.

Das quatro pulverizações realizadas na cultura da soja, com o equipamento para aplicação localizada em tempo real, foram realizadas as aplicações de dessecação e pré-plantio antes da sementeira da soja. Assim, a 1ª aplicação pós emergente e desfolha, que ocorrem quando se tem plantas de soja, como um dos elementos alvo da pulverização, apresentou variável no estágio da planta da soja, como consequência à época de aplicação, devido ao manejo específico da fazenda. Assim, o equipamento de aplicação localizada em tempo real, detecta pelos seus sensores e aplica com base no índice de vegetação, explicando essa variabilidade de quantidade de produtos aplicados na cultura da soja.

Assim, ainda em análise do gráfico ilustrado na Figura 4, verifica-se que para a cultura do milho essa variabilidade é menor, quando comparada com a cultura da soja, sendo de 18% a 85%, na qual o percentil 25 está próximo a 40% e o percentil 75 mais próximo a 62%, tendo então o percentil 50 próximo a 53%.

Das quatro aplicações realizadas na cultura do milho, com o equipamento para aplicação localizada em tempo real, todas as aplicações foram realizadas pós emergente, com exceção em algumas aplicações de determinados talhões da fazenda, em que foram realizadas a 1ª aplicação. Essa aplicação ocorreu antes da emergência, devido a quantidade de plantas daninhas no local e porque o cultivo do milho ocorre sucedendo a cultura da soja. Isso explica o fato dessa queda da porcentagem de redução e da variabilidade que ocorre na cultura do milho, quando comparada com a cultura da soja.

Em seus estudos, sobre o uso de sensores para detecção de plantas daninhas para aplicação em tempo real, Dammer (2016), obteve resultado de 30% a 43% de economia de defensivos agrícolas pulverizados sobre cultura pós emergente. Seguindo essa mesma linha de pesquisa, Shearer e Jones (1991) obtiveram uma economia de apenas 15% na quantidade de produtos aplicados em culturas pós emergente.

Com base nos resultados ilustrados da Figura 7, constatou-se aplicações de dessecação e pré-plantio que apresentaram as maiores médias, ficando próximo a 75% de redução de defensivos agrícolas, não diferindo estatisticamente uma da outra. É importante destacar que essas aplicações ocorreram antes da semeadura da soja e, ainda, é possível discutir a diferença entre essas duas épocas de aplicação, mesmo apresentando a mesma média de redução, em que a aplicação de dessecação apresentou uma variabilidade de redução maior do que a variabilidade de redução da aplicação pré-plantio.

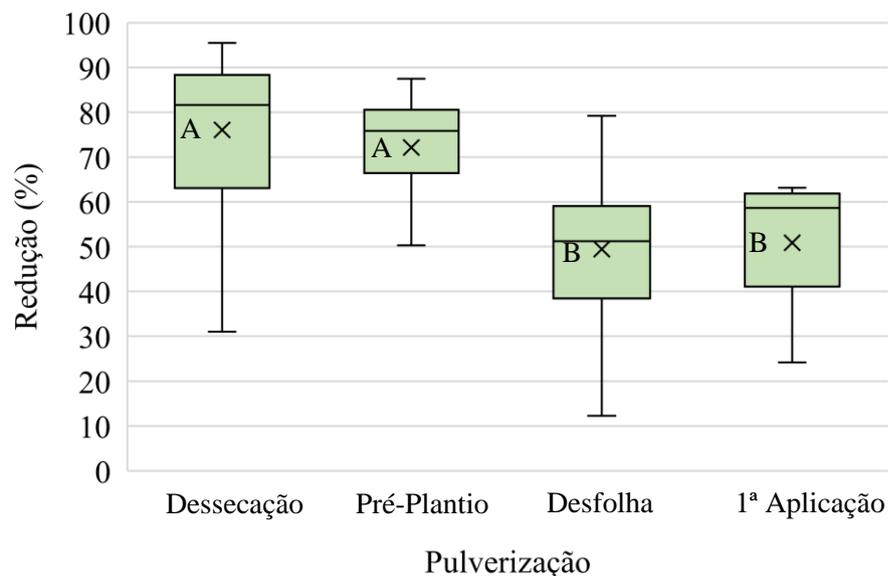


Figura 7. Redução percentual de defensivos agrícolas para o cultivo da soja. Médias semelhantes estatisticamente (Duncan a 95%) possuem a mesma letra.

Na aplicação de pré-plantio, na cultura da soja, foi obtida uma menor variabilidade de porcentagem de redução, tendo esta ocorrido em sucessão a aplicação de dessecação, a qual obteve uma maior variabilidade de porcentagem de redução. Assim, houve o indício de uma possível maior uniformidade na variabilidade espacial de plantas daninhas, após a aplicação localizada de defensivos agrícolas.

Dessa forma, as aplicações de 1ª aplicação pós-emergente e desfolha na cultura da soja apresentaram uma queda da porcentagem de redução de produtos aplicados, tendo em média uma redução de 50% para ambas, que não diferiram estatisticamente entre si. Essa queda da redução pode ser pelo fato dessas aplicações terem sido feitas durante o cultivo da soja, pois, o equipamento de aplicação localizada em tempo real aplica com base no índice de clorofila que é detectada pelos seus sensores.

A partir da análise das médias da desfolha na cultura da soja foi possível detectar médias muito dispersas entre si, variando a quantidade de redução de 13% a 80%. Assim, em plantas de soja no final do ciclo, essa variabilidade pode ser consequência da época de aplicação em cada talhão separadamente, pois o sensor de detecção, que se baseia no índice de clorofila, não detecta igualmente como se fosse em planta de soja um pouco mais nova, a qual ainda retém folhas verdes. Quando comparada essa variabilidade com a atividade de 1ª aplicação na cultura da soja, nota-se uma redução dessa variabilidade devido a maior uniformidade da soja, por estarem no mesmo estágio fenológicos. Assim, em estudos, Haggart et al. (1983), utilizando sensor para detecção de plantas, obtiveram economia de 60% de produtos aplicados alguns dias antes da colheita.

Com base na análise da Figura 8, na cultura do milho, as porcentagens de redução apresentaram as menores médias e variabilidades, devido as épocas de aplicações 1ª, 2ª e 3ª aplicação que não diferiram estatisticamente entre si, obtendo como resultado médias semelhantes próximo a 55% de redução. Assim, o fato dessas três épocas de aplicações apresentarem a mesma média de redução, pode ser explicada por dois fatores, sendo o primeiro pela relação do espaçamento entre fileiras utilizado na semeadura do milho, que foi de 0,90 m, pela fazenda. E, o segundo fator em relação a característica de crescimento do milho, que se tem um maior rendimento de crescimento da planta de milho após 21 DAE (dias após a emergência), que é quando a plântula do milho não utiliza mais os nutrientes contidos no endosperma e começa a utilização dos nutrientes pelo sistema radicular (Taiz e Zeiger, 2013), pois essas três aplicações foram realizadas em um período dentro de 30 dias.

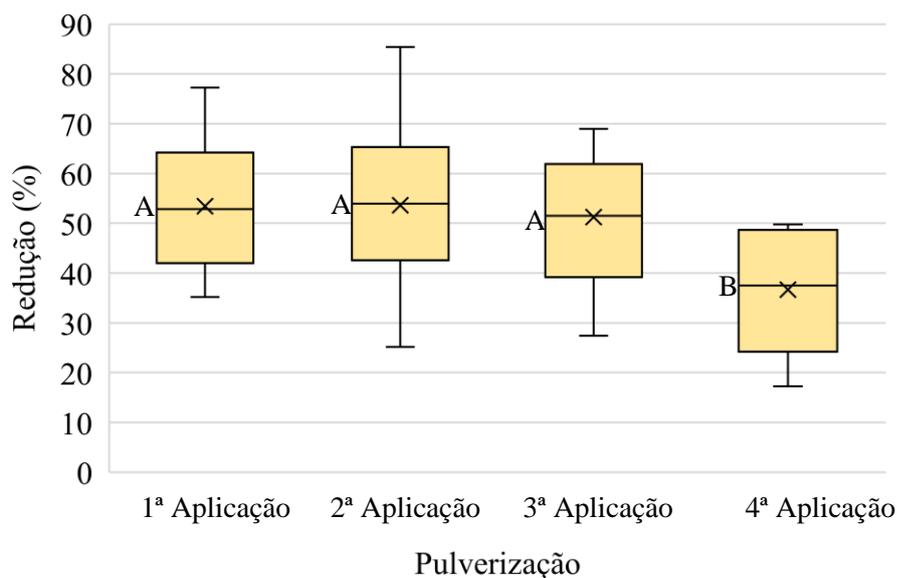


Figura 8. Redução percentual de defensivos agrícolas nas quatro primeira aplicação no cultivo do milho. Médias semelhantes estatisticamente (Duncan a 95%) possuem a mesma letra.

Essa relação, entre esses dois fatores (espaçamento utilizado e a característica de crescimento), pode explicar o fato da queda de 20% da redução na 4ª aplicação, quando comparado com as três aplicações anteriores, obtendo uma redução em média próximo a 35%. Pois, a resolução de cada bico da barra do pulverizador com o equipamento de aplicação localizada é de 0,20 m, então essa queda pode ter ocorrido pelo fato da área foliar da planta ter ultrapassado 0,20 m de comprimento, assim, obrigando o sistema acionar mais um bico para atingir o alvo desejado. Nesse mesmo sentido, Queiroz (2006), obteve redução de 24,1% utilizando sensor de detecção de plantas daninhas em tempo real.

Pautados nos resultados observados no desenvolvimento de nossos estudos, foi possível também quantificar os valores econômicos da quantidade de produtos utilizados pelo equipamento de aplicação localizada em tempo real, sendo possível notar grande diferença econômica quando comparado com a aplicação convencional na cultura do milho (Tabela 4).

Tabela 4. Custo do equipamento utilizado para a aplicação localizada e valores dos produtos aplicados sobre a cultura da SOJA em duas safras.

Item	Unidade	Quantidade	Preço (USD)	Total Utilizado	Área Tratada (ha)	Total por Área (US\$ ha ⁻¹)
Pulverizador Autopropelido Sistema Apl. Local. por Sensor			\$150.000,00			
			\$220.000,00			
Dessecação						
2,4-D	L	965,10	\$16,49	\$15.914,50	5.272,0	\$3,02
Cletodim	L	614,53	\$6,94	\$4.264,84	2.329,0	\$1,83
Cloransulam-metflico	kg	4,70	\$281,18	\$1.321,55	212,0	\$6,23
Clorimuirom-etflico	kg	145,97	\$15,62	\$2.280,05	3.296,0	\$0,69
Diflubenzurom	L	168,50	\$2,83	\$476,86	430,0	\$1,11
Glifosato	L	2.996,94	\$3,12	\$9.350,45	2.915,0	\$3,21
Lambda-Cialotrina	L	3,65	\$19,96	\$72,85	80,0	\$0,91
Paraquate	L	1.437,91	\$2,78	\$3.997,39	2.571,45	\$1,55
Pré-semeadura						
Cletodim	L	525,75	\$6,94	\$3.648,71	1.832,0	\$1,99
Clorimuirom-etflico	kg	128,08	\$15,62	\$2.000,61	2.642,0	\$0,76
Diflubenzurom	L	29,00	\$2,83	\$82,07	210,0	\$0,39
Glifosato	L	1.735,47	\$3,12	\$5.414,67	1.579,0	\$3,43
Lambda-Cialotrina	L	180,18	\$19,96	\$3.596,39	1.839,0	\$1,96
Paraquate	L	25,00	\$2,78	\$69,50	45,0	\$1,54
1ª Aplicação						
Benzoato de Emamectina	kg	69,56	\$52,07	\$3.621,99	1.468,0	\$2,47
Cletodim e Alqui benzeno	L	122,50	\$6,94	\$850,15	210,0	\$4,05
Clorfluazurom	L	42,00	\$14,75	\$619,50	103,0	\$6,01
Desfolha						
Acefato	kg	392,00	\$6,94	\$2.720,48	857,0	\$3,17
Fenitrotiona e Esfenvalerato	L	206,30	\$17,36	\$3.581,37	965,7	\$3,71
Lambda-Cialotrina	L	252,17	\$19,96	\$5.033,31	2976	\$1,55
Paraquate	L	1.521,50	\$2,78	\$4.229,77	1.399,7	\$3,02

Avaliando o custo para a aplicação localizada em tempo real, ilustrado na Tabela 5, constatamos que foi investido um valor de USD\$220.000,00 para obtenção do equipamento de aplicação localizada em tempo real, que somado a máquina de pulverização no valor de USD\$ 150.000,00, para o equipamento ser acoplado para a realização da aplicação localizada, obtivemos um investimento no total de USD\$ 370.000,00. Porém, apesar do alto valor na

somatória final, esse investimento apresentou alguns benefícios para o produtor, como a economia no uso de defensivos agrícolas para o cultivo de soja e milho, por exemplo. Durante as duas safras foi aplicada uma quantidade de produtos no valor de USD\$ 73.174,01 sobre 21.667,02 ha, o que anteriormente, para a aplicação convencional nessa quantidade de área, seria necessária a aplicação de uma quantidade de produtos no valor de USD\$ 429.328,36. Pelo uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real na cultura de milho, durante as duas safras, foi aplicada uma quantidade de produtos equivalente ao valor de USD\$ 192.087,65 sobre 10.943,9 ha, o que anteriormente, para a aplicação convencional nessa quantidade de área, seria aplicada uma quantidade de produtos no valor USD\$ 437.545,85.

Tabela 5. Custo dos produtos aplicados sobre a cultura do MILHO em duas safras.

Item	Unidade	Quantidade	Preço (USD)	Total Utilizado	Área Tratada (ha)	Total por Área (US\$ ha ⁻¹)
1ª Aplicação						
Atrazina	L	4.436,11	\$2,60	\$11.533,89	2.671,4	\$4,32
Benzoato de Emamectina	kg	26,50	\$52,07	\$1.379,86	175,0	\$7,88
Bifentrina e Carbosulfano	L	11,50	\$14,58	\$167,67	42,0	\$3,99
Carbendazim e Tebuconazol	L	16,00	\$6,07	\$97,12	42,0	\$2,31
Clorantraniliprole	L	49,30	\$112,82	\$5.562,03	1.001,5	\$5,55
Clorfluazurom	L	21,50	\$14,75	\$317,13	113	\$2,81
Diflubenzurom	L	41,50	\$2,83	\$117,45	572,5	\$0,21
Estrobilurina, Picoxistrobina	L	35,07	\$31,24	\$1.095,59	167,0	\$6,56
Flubendiamida	L	44,55	\$100,67	\$4.484,85	564,0	\$7,95
Glifosato	L	3.635,97	\$3,12	\$11.344,23	2.745,9	\$4,13
Imidacloprido	kg	222,80	\$26,03	\$5.799,48	1.005,5	\$5,77
Imidacloprido e Bifentrina	L	96,36	\$22,56	\$2.173,88	635,5	\$3,42
Lambda-Cialotrina	L	61,39	\$19,96	\$1.225,34	765,5	\$1,62
Metoxifenoazida	L	32,00	\$19,44	\$622,08	175,0	\$3,55
Paraquate	L	250,00	\$2,78	\$695,00	262,0	\$2,65
Tembotriona	L	112,93	\$90,25	\$10.191,93	1.047,5	\$9,73
Zeta-Cipermetrina	L	5,90	\$20,83	\$122,90	45,5	\$2,70
2ª Aplicação						
Aminoácido Acido						
L-Glutâmico	L	30,00	\$17,36	\$520,80	109,0	\$4,78
Atrazina	L	3.576,24	\$2,60	\$9.298,22	3.001,3	\$3,10
Azoxistrobina	L	100,65	\$3,12	\$314,03	222,0	\$1,41
Azoxistrobina e Ciproconazol	L	30,50	\$31,24	\$952,82	197,0	\$4,84

(Continua)...

Tabela 5. Continuação. Custo dos produtos aplicados sobre a cultura do MILHO em duas safras.

Item	Unidade	Quantidade	Preço (USD)	Total Utilizado	Área Tratada (ha)	Total por Área (US\$ ha ⁻¹)
Benzoato de Emamectina	kg	51,39	\$52,07	\$2.675,88	438,5	\$6,10
Bifentrina e Carbosulfano	L	134,25	\$14,58	\$1.957,37	422,5	\$4,63
Carbendazim e Tebuconazol	L	145,90	\$6,07	\$885,61	334,5	\$2,65
Clorantraniliprole	L	46,10	\$112,82	\$5.201,00	1.046,5	\$4,97
Clorfluazurom	L	286,58	\$14,75	\$4.227,06	1539	\$2,75
Espinetoram	L	4,30	\$130,17	\$559,73	67,5	\$8,33
Estrobilurina, Picoxistrobina	L	167,40	\$31,24	\$5.229,58	704,5	\$7,42
Flubendiamida	L	8,75	\$100,67	\$880,86	210,5	\$4,18
Glifosato	L	3.613,46	\$3,12	\$11.274,00	3.001,3	\$3,76
Imidacloprido	kg	20,96	\$26,03	\$545,59	374,0	\$1,46
Imidacloprido e Bifentrina	L	442,05	\$22,56	\$9.972,65	2.536,6	\$3,93
Lambda-Cialotrina	L	10,85	\$19,96	\$216,57	112,2	\$1,93
Metoxifenoazida	L	20,00	\$19,44	\$388,80	104,0	\$3,74
Novalurom	L	63,00	\$20,83	\$1.312,29	302,0	\$2,54
Tebuconazol e Metominostrobin	L	97,59	\$14,75	\$1.439,45	222,0	\$6,48
Tembotriona	L	11,71	\$90,25	\$1.056,83	302,0	\$3,50
Triflumurom	L	57,80	\$20,83	\$1.203,97	652,1	\$1,85
Zeta-Cipermetrina	L	7,50	\$20,83	\$156,23	257,0	\$0,61
3ª Aplicação						
Atrazina	L	1.542,51	\$2,60	\$4.010,53	1.195,3	\$3,36
Azoxistrobina	L	881,33	\$3,12	\$2.749,75	1.752,8	\$1,57
Benzoato de Emamectina	kg	30,50	\$52,07	\$1.588,14	190,0	\$8,36
Bifentrina e Carbosulfano	L	74,00	\$14,58	\$1.078,92	210,5	\$5,13
Carbendazim e Tebuconazol	L	468,19	\$6,07	\$2.841,91	762,7	\$3,11
Clorantraniliprole	L	49,80	\$112,82	\$5.618,44	1.071,5	\$5,24
Clorfluazurom	L	234,86	\$14,75	\$3.464,19	848,8	\$4,08
Diflubenzurom	L	26,20	\$20,83	\$545,75	262,0	\$2,08
Espinetoram	L	36,80	\$130,17	\$4.790,26	578,8	\$8,28
Estrobilurina, Picoxistrobina	L	375,32	\$31,24	\$11.725,00	1.543,7	\$7,60
Glifosato	L	1.203,00	\$3,12	\$3.753,36	1.385,3	\$2,71
Imidacloprido	kg	105,41	\$26,03	\$2.743,82	1.421,0	\$1,93
Imidacloprido e Bifentrina	L	308,21	\$22,56	\$6.953,22	1.383,3	\$5,03
Indoxacarbe	L	61,23	\$45,13	\$2.763,31	245,7	\$10,05
Lambda-Cialotrina	L	18,60	\$19,96	\$371,26	245,7	\$1,51

(Continua)...

Tabela 5. Continuação. Custo dos produtos aplicados sobre a cultura do MILHO em duas safras.

Item	Unidade	Quantidade	Preço (USD)	Total Utilizado	Área Tratada (ha)	Total por Área (US\$ ha ⁻¹)
Metoxifenoazida	L	25,50	\$19,44	\$495,72	190,0	\$2,61
Tebuconazol e Metominostrobin	L	138,92	\$14,75	\$2.049,07	331,0	\$6,19
4 ^a Aplicação						
Atrazina	L	440,00	\$2,60	\$1.144,00	210,0	\$5,45
Azoxistrobina	L	496,00	\$3,12	\$1.547,52	745,7	\$2,08
Carbendazim e Tebuconazol	L	378,00	\$6,07	\$2.294,46	535,7	\$4,28
Clorfluazurom	L	96,00	\$14,75	\$1.416,00	290,0	\$4,88
Espinetoram	L	25,30	\$130,17	\$3.293,30	299,0	\$11,01
Estrobilurina, Picoxistrobina	L	96,50	\$31,24	\$3.014,66	379,0	\$7,95
Glifosato	L	613,00	\$3,12	\$1.912,56	493,0	\$3,88
Imidacloprido	kg	24,00	\$26,03	\$624,72	290,0	\$2,15
Imidacloprido e Bifentrina	L	93,00	\$22,56	\$2.098,08	455,7	\$4,60

Quando somados os valores de custo de aquisição dos insumos da cultura de soja e milho, para o uso do equipamento de aplicação localizada, o valor da quantidade de produtos aplicados foi de USD\$ 267.261,65. E para a aplicação sem o sistema de aplicação em tempo real, seria aplicada uma quantidade de produtos no valor de USD\$ 866.874,21, possibilitando, conforme apontado pelos dados, uma economia de 69,16% em produtos aplicados sobre a cultura de soja e milho em duas safras avaliadas, totalizando em USD\$ 599.612,56 economizados (Tabela 6). Para Schockley et al. (2011), em estudos comparativos entre agricultura convencional e agricultura de precisão para a cultura de soja e milho, foi constatada uma redução de 2,2% à 10,4% de custos de produção. Os autores ainda reportam que o equipamento teve um custo de USD\$ 0,32 ha⁻¹ referentes aos juros e uma depreciação de USD\$ 0,56 ha⁻¹. E para a aplicação sem o sistema eletrônico esse custo seria de USD\$ 0,13 ha⁻¹ de juros e uma depreciação de USD\$ 0,23 ha⁻¹.

Tabela 6. Custo por área em cada atividade realizada sobre as culturas de soja e milho nas duas safras.

Fatores de Custo	Sistema Apl. Local. por Sensor Custo (US\$ ha ⁻¹)	Área Controle (convencional) Custo (US\$ ha ⁻¹)
<i>Custo Fixo (Equipamento):</i>		
Custos dos Juros ¹	\$0,32	\$0,13
Depreciação ²	\$0,56	\$0,23
<i>Custo Variável (Defensivos)</i>		
<i>1º Ano - Soja</i>		
Dessecação	\$3,50	\$25,82
Pré-semeadura	\$3,30	\$12,83
1a Aplicação	\$12,44	\$28,16
Desfolha	\$4,26	\$8,20
<i>1º Ano - Milho</i>		
1a Aplicação	\$8,91	\$27,29
2a Aplicação	\$14,42	\$34,50
3a Aplicação	\$20,36	\$42,73
4a Aplicação	\$24,51	\$38,55
<i>2º Ano - Soja</i>		
Dessecação	\$5,31	\$20,31
Pré-semeadura	\$8,68	\$35,68
Desfolha	\$9,56	\$17,25
<i>2º Ano - Milho</i>		
1a Aplicação	\$23,36	\$41,88
2a Aplicação	\$20,05	\$40,78
3a Aplicação	\$24,02	\$44,73
Custo Variável (Defensivos)	\$182,68	\$418,71
Custo Fixo Adicional (Equip.)	\$0,88	-
Custo Total	\$183,56	\$418,71
Redução do Custo (%)	128,11%	

¹: Juros referente ao financiamento dos equipamentos considerado a 6,5 % ao ano no mercado brasileiro.

²: Depreciação dos equipamentos sendo considerado uma vida útil de 15 mil horas.

Foi possível verificar valores diferentes para cada atividade, destacando na cultura da soja as aplicações de dessecação e pré-semeadura, que apresentaram os menores custos com o uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real, variando de quatro a sete vezes menos do que aplicação convencional. Já para as atividades de 1ª aplicação e desfolha a aplicação localizada em tempo real, ficou próxima da metade do custo do que seria com a aplicação convencional.

As atividades de 1ª aplicação com uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real na cultura do milho, apresentaram os custos de duas a três vezes menos do que seria com a

aplicação convencional. Já para as demais atividades, aplicadas na cultura do milho, com o uso do equipamento de aplicação localizada, apresentaram próximo a metade dos custos do que seria com a aplicação convencional.

Quando somado todos os custos variáveis e custos fixos, a aplicação convencional iria apresentar um valor de USD\$ 418,71 e diferentemente a aplicação localizada em tempo real apresentou um valor de USD\$ 183,50. Então, com o uso do equipamento de aplicação localizada em tempo real obteve-se como resultado uma redução de 128,11% dos custos por hectare de defensivos agrícolas pulverizados sobre a cultura de soja e milho.

CONCLUSÃO

O uso do equipamento para aplicação localizada em tempo real proporciona redução da quantidade de defensivos utilizados nas culturas de soja e milho, mesmo nas aplicações de outros defensivos agrícolas, como inseticidas e fungicidas, ou seja, traz redução de defensivos mesmo em aplicações em pós emergência dessas culturas.

Há maior redução da quantidade de insumo aplicado em condição de pós-emergência das culturas de soja e milho nos estádios iniciais, quando ainda a cultura possui menor área foliar, ou menor recobrimento das entrelinhas.

Mesmo havendo necessidade de um maior investimento inicial para aquisição do equipamento para aplicação localizada de defensivos, a redução de custo pelo uso dessa tecnologia foi 2,28 vezes menor, quando comparada à aplicação em área total.

Não houve, nas condições experimentais aplicadas, diferenças na produtividade histórica das culturas de soja e milho pela aplicação dessa tecnologia, pois as doses recomendadas não foram afetadas, somente o local da aplicação naqueles pontos onde as plantas eram detectadas.

REFERÊNCIAS

AMARAL, L. R., MOLIN, J. P., PORTZ, G. FINAZZI, F. B., CORTINOVE, L. Comparison of crop canopy reflectance sensors used to identify sugarcane biomass and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v. 16, p. 15–28, 2015. DOI: 10.1007/s11119-014-9377-2

BAIO, F.H, SCARPIN, I.M., DA SILVA, E.E., (2015) Papel Hidrossensível e Alternativo Fotográfico em Ensaios de Deposição de Gotas. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9 n. 4, p.339-347.

BALASTREIRE, L. A., BAILO, F.H.R. Avaliação de uma metodologia prática para o mapeamento de plantas daninhas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 5, n.2, p.349-352, 2001. DOI: 10.1591/S1415-43662001000200029

BARRERO, O., PERDOMO, AS. RGB e fusão de imagens multiespectrais de UAV para detecção de ervas daninhas *Gramineae* em campos de arroz. **Precision Agriculture**, v. 19, p. 809–822, 2018. DOI.ORG/10.1007/S11119-017-9558-X

BHERING, L. L. Rbio: A tool for biometric and statistical analysis using the R platform. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, p. 187-190, 2017. ISSN 1984-7033. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1984-70332017000200187&nrm=iso >.

BILLER, R.H., HOLLSTEIN, C., SOMMER, C. Precision application of herbicides by use of optoelectronic sensors. **Precision Agriculture**, v. 2, p. 451-58, 1997.

BORA, G. C., SCHROCK, M. D., OARD, D. L., GRIMM, J. J., KOLB, T. C., HIGGINS, J. J. Confiabilidade, modulação de largura de pulso (PWM), Amônia anidra, agricultura de precisão. **Engenharia aplicada à agricultura**, v. 21, n. 6, p. 955-960,2005. DOI: 10.13031/2013.20025

DAMMER, K., WARTENBERG, G. Sensor-based weed detection and application of variable herbicide rates in real time. **Crop Protection**, v. 26, n. 3 p.270-277, 2007. DOI: 10.1016/j.cropro.2005.08.018

DAMMER, K. Real-time variable-rate herbicide application for weed control in carrots. **European Weed Research Society**, v. 56, n. 3, p.237-246, 2016. DOI: 10.1111/wre.12205.

HAGGAR, R. J.; STENT, C. J.; ISAAC, S. A prototype hand-held patch sprayer for killing weeds, activated by spectral differences in crop/ weed canopies. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 28, n. 4 p. 349-358, 1983.

HUNT, D. **Farm power and machinery management**. 10. ed Ed. Waveland Press. 2007. 376 p.

JURADO-EXPÓSITO, M., DE CASTRO, A.I., TORRES-SÁNCHEZ, J. ET AL. PAPAVER RHOEAS L. mapping with cokriging using UAV imagery. **Precision Agriculture**, v. 20, p. 1045–1067, 2019. DOI: 10.1007/s11119-019-09635-z

KAY, R., EDWARDS, W., & DUFFY, P. A. **Farm Management**. 8. ed. Ed. McGraw-Hill Education. 2015. 480p.

LÓPEZ-GRANADOS, F., TORRES-SÁNCHEZ, J., SERRANO-PÉREZ, A. ET AL. Weed mapping at the beginning of the season in sunflower using UAV technology: variability of herbicide treatment maps in relation to weed limits. **Precision Agriculture**, v. 17, p. 183–199, 2016. DOI: 10.1007/s11119-015-9415-8

MANANDHAR, A., ZHU, H., OZKAN, E. SHAH, A. Techno-economic impacts of using a laser-guided variable-rate spraying system to retrofit conventional constant-rate sprayers. **Precision Agriculture**, v. 21 p. 1156–1171, 2020. DOI.ORG/10.1007/S11119-020-09712-8

QUEIROZ, C. A. S. ; ANTUNIASSI, U. R. Avaliação de um sensor de detecção de plantas daninhas por análise de imagens. **Energia na Agricultura**, v. 21, p. 1-11, 2006.

RASMUSSEN, J., NIELSEN, J., STREIBIG, J.C. ET AL. Pre-harvest weed mapping of *Cirsium arvense* in wheat and barley with off-the-shelf UAVs. **Precision Agriculture**, v. 20, p. 983–999, 2019. DOI: 10.1007/s11119-018-09625-7

SHEARER, S. A.; JONES, P. T. Selective applications of post-emergence herbicides using photoelectrics. **Transactions of American Society Agricultural Engineers**, v. 34, n. 4, p. 1661-1666, 1991.

SCHIEFFER, J., DILLON, C. The economic and environmental impacts of precision agriculture and interactions with agro-environmental policy. **Precision Agriculture**, v. 16, p. 46–61, 2015. DOI: 10.1007/s11119-014-9382-5

SHOCKLEY, J. M., DILLON, C. R., STOMBAUGH, T. A whole farm analysis of the influence of auto-Steer navigation on net returns, risk, and production practices. **Journal of Agricultural and Applied Economics**. V. 43, n. 1, p. 57-75, 2011. DOI: 10.22004/ag.econ100640

SMART, S. B. **Smart Sensing Brasil**. Disponível em: <http://smartsensingbrasil.com.br/>. Acesso em: 15 de out. De 2020.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Ed. Porto Alegre, RS: Artmed, 2013. 165 p.

TAXA DE CAMBIO REFERENCIAL. **B3**: market-data-e-indices, 2021. Página Inicial. Disponível em: http://www.b3.com.br/pt_br/ Acesso em: 01 de Fev. de 2021.