

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

NÍCOLAS EDUARDO BARBIERI HERMANN

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOLIAR À BASE DE
ÁGUA DE XISTO, ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO
REMOTO, NA CULTURA DO MILHO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2021

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

NÍCOLAS EDUARDO BARBIERI HERMANN

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOLIAR À BASE DE
ÁGUA DE XISTO, ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO
REMOTO, NA CULTURA DO MILHO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PATO BRANCO

2021

NÍCOLAS EDUARDO BARBIERI HERMANN

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOLIAR À BASE DE
ÁGUA DE XISTO, ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO
REMOTO, NA CULTURA DO MILHO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Me. Henrique dos Santos Felipetto

PATO BRANCO

2021

Barbieri Hermann, Nicolás Eduardo

Avaliação da influência da adubação foliar à base de água de xisto, através de técnicas de sensoriamento remoto, na cultura do milho. / Nicolás Eduardo Barbieri Hermann.

Pato Branco. UTFPR, 2021

59 f. : il. ; 30 cm

Orientador: Prof. Me. Henrique dos Santos Felipetto

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. Pato Branco, 2018.

Bibliografia: f. 56 – 58

1. Agronomia 2. Sensoriamento remoto 3. Adubação foliar 4. Índice de vegetação. I. Felipetto, Henrique dos S., orient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. IV. Título.

CDD: 630



TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO – TCC

Avaliação da influência da adubação foliar à base de água de xisto, através de técnicas de sensoriamento remoto, na cultura do milho

Por

Nícolas Eduardo Barbieri Hermann

Monografia defendida em sessão pública às 09 horas 00 min. do dia 08 de dezembro de 2020 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos Membros abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o Trabalho de Conclusão de Curso, em sua forma final, pela Coordenação do Curso de Agronomia foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Daniel Carvalho Granemann - UTFPR *Campus* Pato Branco

Prof. Dr. Adão Robson Elias - UTFPR *Campus* Pato Branco

Prof. Dr. Octavio Henrique Viana - IFC *Campus* Assis Chateaubriand

Prof. Me. Henrique dos Santos Felipetto - UTFPR *Campus* Pato Branco - Orientador

Prof. Dr. Jorge Jamhour - Professor responsável TCC 2

A “Ata de Defesa” e o decorrente “Termo de Aprovação” encontram-se assinados e devidamente depositados no SEI-UTFPR da Coordenação do Curso de Agronomia da UTFPR *Campus* Pato Branco, após a entrega da versão corrigida do trabalho, conforme Norma aprovada pelo Colegiado de Curso.

Dedico este trabalho à minha mãe, Taciana Barbieri, que, infelizmente, não está mais entre nós, mas pôde me dar educação e amor antes de partir para um lugar melhor.

Dedico também, à minha avó, Eliza Biazotto Barbieri e meu avô Genoir Barbieri, que foram os maiores responsáveis pela minha criação e me passaram conceitos da vida e virtudes que carregarei para sempre.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, e me permitiu ter saúde e determinação durante todos meus anos de estudo.

Agradeço meus familiares e amigos por todo apoio e ajuda. Que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam minha ausência durante meus estudos e a realização deste trabalho.

Agradeço o professor, Henrique dos Santos Felipetto, por ter sido meu orientador, e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

Agradeço também, os membros da banca, Adão Robson Elias, Daniel Carvalho Granemann e Octavio Henrique Viana, que se fizeram disponíveis para fazer parte desta etapa da minha vida.

“Meu avô costumava dizer que uma vez na vida você vai precisar de um médico, de um advogado, de um policial e um padre mas, todo dia, três vezes por dia, você precisa de um agricultor.”

Brenda Schoepp

RESUMO

HERMANN, Nicolás. Avaliação da influência da adubação foliar à base de água de xisto, através de técnicas de sensoriamento remoto, na cultura do milho. 59 f. TCC (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência da adubação foliar à base de xisto, e a correlação entre aspectos morfológicos e teores de clorofila com o índice foliar GLI (*Green Leaf Index*). O experimento foi realizado na safrinha de milho na Propriedade Família Hermann, que possui histórico de oito anos de plantio direto com cultivos anuais, predominando as culturas da soja, milho, feijão e aveia. Localizada no município de Foz do Jordão, no Sudoeste do Paraná. As parcelas foram submetidas aos seguintes tratamentos com bioestimulante produzido com água de xisto: (T1) Testemunha; (T2) 1 L ha⁻¹; (T3) 2,5 L ha⁻¹; (T4) 4 L ha⁻¹. Os tratamentos foram divididos em blocos e os pontos de coletas foram aleatórios para cada unidade experimental, sendo em cada uma delas, realizadas quatro amostras para aspectos morfológicos e oito amostras para o índice GLI. Nos estádios de desenvolvimento V6, V10, V14 e R1, foram realizadas avaliações de altura, diâmetro de colmo, índice foliar GLI e medição com clorofilômetro. Para cada avaliação, as médias dos tratamentos foram submetidas ao teste Tukey de comparação de médias. Foi rodado um teste de Correlação de Pearson, onde foi possível observar quais dados se correlacionaram. Para os dados que se mostraram correlacionados entre si, e apresentaram diferença significativa entre as médias, foi ajustado gráficos de regressão linear, sendo assim, possível de se observar como, e em qual nível, se deu a correlação entre as variáveis. A maior produtividade foi observada no tratamento de 4 L ha⁻¹, seguido, respectivamente das concentrações menores. O índice foliar GLI se mostrou mais promissor quando o voo foi realizado na transição da fase vegetativa para a fase reprodutiva (estádio fenológico R1) se correlacionando com os dados de: produtividade, altura de planta e diâmetro de colmo.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Adubação foliar. Índice de vegetação.

ABSTRACT

HERMANN, Nicolás. Evaluation of the influence of foliar fertilization based on schist water, through remote sensing techniques, in maize crop. 59 f. TCC (Course of Agronomy) - Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

The objective of the present work was to evaluate the efficiency of shale-based foliar fertilization, and the correlation between morphological aspects and chlorophyll contents with the Green Leaf Index (GLI). The experiment was realized at the Hermann Family estate, which has a history of eight years of direct planting with annual crops, predominantly soybean, corn, beans and oats. Located in the city of Foz do Jordão, in the Southwest of Paraná state. The plots were subjected to the following treatments with biostimulant produced with shale water: (T1) Control; (T2) 1 L ha⁻¹; (T3) 2,5 L ha⁻¹; (T4) 4 L ha⁻¹. The treatments were divided into blocks and the collection points were randomized for each experimental unit, with eight collections of information being made in each of them, and then an arithmetic mean between the values. In the development stages V6, V10, V14 and R1, height, stem diameter, green leaf index and chlorophyll meter measurements were performed. For each evaluation, the means of the treatments were submitted to the Tukey test of comparison of averages, testing if there was a significant difference between the treatments. On top of all the variables, a Pearson Correlation test was run, where it was possible to observe which data correlated. For the data that showed to be correlated with each other, a linear regression graph was adjusted, being thus possible to observe how, and at what level, the correlation between the variables occurred. The highest productivity was observed in the treatment of 4 L ha⁻¹, followed by the lower treatments. The GLI was more promising when the flight was carried out in the transition from the vegetative phase to the reproductive phase (development stage R1). Showing positive correlation with the data of: productivity, plant height and stem diameter.

Keywords: Remote Sensing. Foliar fertilization. Vegetation Index.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estádios de desenvolvimento da cultura do milho.....	20
Figura 2 – Mapa de localização do município, onde foi realizado o experimento.....	26
Figura 3 – Localização e distribuição de área dentro da propriedade.....	27
Figura 4 – Alturas pluviométricas diárias para os meses de março, abril, maio e junho de 2019.....	28
Figura 5 – Esquema ilustrativo das amostragens.....	30
Figura 6 – Croqui interpolado de dados da quantidade de matéria orgânica na área do experimento.	31
Figura 7– Croqui interpolado de dados da soma de bases da área do experimento.....	31
Figura 8 – Croqui interpolado de dados de pH em CaCl ₂ da área do experimento.....	32
Figura 9 – Croqui interpolado de dados de fósforo da área do experimento.....	32
Figura 10 – Croqui interpolado de dados de potássio da área do experimento.....	33
Figura 11 – Croqui experimental.....	34
Figura 12 – Imagens da aplicação do adubo foliar, dia 23 de março de 2019.....	35
Figura 13 – Representação dos estádios fenológicos onde foram realizadas as avaliações.....	36
Figura 14 – Imagem representativa de um dos voos realizados durante o trabalho.....	39
Figura 15 – Fluxograma do processo de obtenção dos dados do índice vegetal.....	40
Figura 16 – Esquema de amostragem de píxels no software QGIS para obtenção das médias de GLI.	40
Figura 17 – Regressões lineares das variáveis em V10.....	48
Figura 18 – Regressão linear das variáveis em V14.....	49
Figura 19 – Regressões lineares das variáveis em R1.....	50
Figura 20 – Regressões lineares das médias de produtividade, relacionadas com a dose do produto.	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de fertilidade, obtidos através das análises se solo.....	30
Tabela 2 – Cronograma das atividades realizadas.....	36
Tabela 3 – Parâmetros principais do voo de aquisição de imagens com RPA.....	38
Tabela 4 – Teste Tukey de comparação de médias do índice de vegetação GLI.....	42
Tabela 5 – Teste Tukey de comparação de médias de altura de planta, em centímetros.....	42
Tabela 6 – Teste Tukey de comparação de médias de clorofila A.....	43
Tabela 7 – Teste Tukey de comparação de médias de clorofila B.....	43
Tabela 8 – Teste Tukey de comparação de médias de diâmetro de colmo, em milímetros.....	44
Tabela 9 – Teste Tukey de comparação de médias de peso de mil grãos, em gramas.....	44
Tabela 10 – Teste Tukey de comparação de médias de produtividade, em sacas por hectare.....	44
Tabela 11 – Correlação de Pearson para a primeira avaliação, em aproximadamente V6.....	45
Tabela 12 – Correlação de Pearson para a segunda avaliação, em aproximadamente V10.....	46
Tabela 13 – Correlação de Pearson para a segunda avaliação, em aproximadamente V14.....	46
Tabela 14 – Correlação de Pearson para a última avaliação, em aproximadamente R1.....	47

LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

RPA	(Aeronave Remotamente Pilotada) <i>Remotely-Piloted Aircraft</i>
SR	Sensoriamento Remoto
AX	Água de Xisto
GLI	Green Leaf Index (Índice Foliar Verde)
SPAD	Soil Plant Analysis Development (Análise do desenvolvimento solo/planta). Remete a avaliação do teor de clorofila na folha.
PMG	Peso de mil grãos
RGB	Red, Green e Blue (Vermelho, Verde e Azul). Bandas de cores responsáveis por formar uma imagem colorida.
ha	Hectare
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
DJI	SZ DJI Technology Co., Ltd. ou Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd.
CMOS	Complementary Metal-Oxide Semiconductor (Metal-óxido Semicondutor Complementar) se refere a uma tecnologia de fabricação de dispositivos eletrônicos semicondutores
SIG	Sistema de informação geográfica
ANOVA	Análise de normalidade e variância
CLA	Clorofila A
CLB	Clorofila B
ALT	Altura
COL	Diâmetro de colmo
PRO	Produtividade
CTC	Capacidade de troca de cátions
SB	Soma de bases
DAS	Dias após a semeadura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 GERAL.....	16
2.2 ESPECÍFICOS.....	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
3.1 A CULTURA DO MILHO.....	17
3.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS DO MILHO.....	17
3.3 FERTILIZANTE FOLIAR À BASE DE ÁGUA DE XISTO.....	21
3.4 SENSORIAMENTO REMOTO E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	23
3.5 ÍNDICE FOLAR VERDE (GLI).....	24
3.6 UTILIZAÇÃO DO CLOROFILÔMETRO PARA ESTIMAR O TEOR DE CLOROFILA E DE NITROGÊNIO NA FOLHA.....	25
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO.....	26
4.2 REGIME DE CHUVAS NA ÁREA.....	27
4.2 TRATOS CULTURAIS.....	29
4.3 FERTILIDADE DO SOLO.....	29
4.4 TRATAMENTOS.....	33
4.4.1 APLICAÇÃO DO ADUBO FOLIAR À BASE DE ÁGUA DE XISTO.....	34
4.5 VARIÁVEIS ANALISADAS.....	35
4.6 ÍNDICE FOLIAR.....	38
4.7 PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
5.1 TESTES DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE OS TRATAMENTOS.....	42
5.2 TESTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA OS DADOS.....	45
5.3 AJUSTES DE REGRESSÃO LINEAR.....	48
6 CONCLUSÕES.....	53
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

1 INTRODUÇÃO

Em grande parte da história da humanidade, fomos caçadores-coletores. Há cerca de 10.000 anos, que começamos a domesticar plantas e animais como uma forma de tornar a nossa oferta de alimentos mais acessível e previsível. De muitas formas, o nascimento da agricultura pode ser definido como o momento em que paramos de perseguir nossa comida e começamos a cultivá-la (ARIEIRA, 2017).

O milho (*Zea mays* L.), provavelmente é a mais importante planta comercial com origem nas Américas. Há indicações de que sua origem tenha sido no México, América Central ou Sudoeste dos Estados Unidos. A importância econômica do milho é caracterizada pelas diversas formas de sua utilização, tanto para alimentação humana como animal (DUARTE; MATTOSO; GARCIA, 2003).

O estado do Paraná colheu, na segunda safra de milho de 2018, uma área de 2 milhões de hectares e uma produção de 9,3 milhões de toneladas, o que corresponde a uma produtividade de 4,4 t ha⁻¹, ficando em segundo colocado no ranking nacional, perdendo em produtividade para o estado do Mato Grosso com 5,8 t ha⁻¹ (IBGE, 2018).

Aumentar a produtividade das plantas cultivadas é um dos principais pontos trabalhados por pesquisadores ao longo do tempo desde que a agricultura se deu início. Para isso, foram desenvolvidos diferentes fertilizantes a fim de suprir as necessidades nutricionais de cada cultura. Os fertilizantes a base da água de xisto (AX) representam um dos mais recentes grupos de insumos agrícolas e estes vem sendo bastante utilizados na tentativa de obter maiores produtividades em variadas culturas.

A AX, que foi caracterizada, padronizada e avaliada quanto a sua eficiência agrônômica pela Embrapa Clima Temperado, já está sendo comercializada pela Petrobras às empresas de produção de fertilizantes foliares do estado do Paraná (CONGRO, 2008). Um desses fertilizantes que possuem a tecnologia Petrosix® é o Agrosix®, produzido e distribuído pela Unity Agro® (Antiga Mulching Six do Brasil). Produto pioneiro na fertilização foliar bioestimulante, produzido a partir da AX, extrato de origem fóssil constituído por nutrientes, matéria

orgânica, aminoácidos e hormônios. O produto comercial é registrado com as garantias de 16% de N, 4% de K₂O, 1% de Mg, 1,2% de S, 0,03% de B e 0,01% Mo (MULCHING, 2013).

Por sua rica composição, o produto comercial tem potencial para proporcionar várias melhoras na vegetação. Porém, os estudos científicos realizados com o produto acerca de sua eficiência em milho não se mostram muito presentes na literatura. Daí se dá a seguinte questão: quão eficiente pode ser o produto no aumento da produtividade melhora na condição vegetal de milho safrinha?

O sensoriamento remoto pode ser uma boa ferramenta para a avaliação do desempenho de um produto ou da própria cultura. A quantidade e qualidade da energia eletromagnética refletida e emitida pelos objetos terrestres resulta das interações entre a energia eletromagnética e estes objetos. Essas interações são determinadas pelas propriedades físico-químicas e biológicas desses objetos e podem ser identificadas nas imagens e nos dados de sensores remotos (MORAES, 2002).

A partir da manipulação das imagens captadas por sensores remotos podemos gerar os chamados índices de vegetação, onde cada pixel da imagem pode ser traduzido em um valor numeral. Esses valores têm apresentado forte correlação com atributos físicos da planta e até com a produtividade de grãos.

Alguns índices são realizados utilizando a banda espectral do Infra Vermelho Próximo (*Near Infra Red* - NIR), porém, o custo dos sensores NIR pode se tornar um agente proibitivo na hora de realizar análises por sensoriamento remoto. Logo, a comunidade científica vem realizando pesquisas acerca de índices de vegetação realizados com sensores RGB, que captam apenas frequências do espectro visível), e apresentam um custo menor comparado aos NIR.

O Índice Foliar Verde (GLI – Green Leaf Index) é um dos índices RGB utilizados. Se baseia na relação entre as bandas vermelho, verde e azul, a fim de descrever a variação da área foliar da vegetação monitorada. Foi desenvolvido com o objetivo de avaliar o impacto do pastoreio em cultivos de trigo de inverno.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar e correlação entre o índice foliar GLI e os dados obtidos de altura; diâmetro de colmo; clorofila A e B, peso de mil grãos e produtividade. Além de avaliar a eficiência da adubação foliar à

base de Água de Xisto no melhoramento da condição vegetal e, conseqüentemente, da produtividade.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a eficiência da adubação foliar à base de xisto, e a correlação entre o índice foliar GLI e os dados obtidos de altura; diâmetro de colmo; clorofila A e B, peso de mil grãos e produtividade, na cultura do milho safrinha, no município de Foz do Jordão – PR.

2.2 ESPECÍFICOS

1. Avaliar a eficiência da adubação foliar à base de Água de Xisto no melhoramento da condição vegetal e, conseqüentemente, da produtividade.
2. Avaliar a correlação entre o índice foliar GLI e os dados obtidos de altura; diâmetro de colmo; clorofila A e B; peso de mil grãos e produtividade.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 A CULTURA DO MILHO

O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie que pertence à família *Poaceae*, com origem no teosinto, *Zea mays*, e é cultivada em muitas partes do Mundo (Estados Unidos da América, República Popular da China, Índia, Brasil, França, Indonésia, África do Sul etc). A sua grande adaptabilidade, representada por variados genótipos, permite o seu cultivo desde o Equador até ao limite das terras temperadas e desde o nível do mar até altitudes superiores a 3600 metros, encontrando-se, assim, em climas tropicais, subtropicais e temperados. Esta planta tem como finalidade de utilização a alimentação humana e animal, devido às suas elevadas qualidades nutricionais, contendo quase todos os aminoácidos conhecidos, com excepção da lisina e do triptofano (BARROS; CALADO, 2014).

Dentre os cereais cultivados no Brasil, o milho é um dos mais expressivos, disputando o primeiro lugar com a soja. O Brasil destina cerca de 5,4 milhões de hectares para a primeira safra de milho e 10 milhões para a segunda (CONAB, 2019). Por suas características fisiológicas, a cultura do milho tem alto potencial produtivo, já tendo sido obtida produtividade superior a 16 t ha⁻¹, em concursos de produtividade de milho conduzidos por órgãos de assistência técnica e extensão rural e por empresas produtoras de semente. No entanto, o nível médio nacional de produtividade é muito baixo, cerca de 3.250 kg ha⁻¹, demonstrando que alguns sistemas de produção de milho podem ser bastante melhorados (CRUZ *et al.*, 2006).

3.2 ASPECTOS MORFOLÓGICOS DO MILHO

Segundo Barros e Calado, 2014, as plantas do milho são consideradas de folha estreita, com o seu comprimento a ser muito superior à largura. As folhas estão dispostas alternadamente e inseridas nos nós. As folhas são constituídas de

uma bainha invaginante, pilosa de cor verde clara e limbo verde-escuro, estreito e de forma lanceolada, possuindo bordos serrilhados com uma nervura central vigorosa.

O milho é uma planta monoica, ou seja, possui os órgãos masculinos e femininos na mesma planta em inflorescências diferentes, estando os masculinos agrupados na panícula (bandeira), situada no topo de colmo que contém unicamente os estames envolvidos nas glumas e os femininos em espigas axilares. Os órgãos masculinos aparecem antes dos femininos e por isso, é uma espécie protândrica. Quando a panícula é emitida, o crescimento da parte aérea do milho cessa e o crescimento radicular é bastante reduzido e, isto sucede cerca de 4 a 5 dias antes do aparecimento da espiga (BARROS; CALADO, 2014, p. 9).

O ciclo fenológico do milho pode ser dividido nos seguintes estádios fenológicos propostos por (CIAMPITTI; ELMORE; LAUER, 2016).

VE (Emergência): A emergência ocorre quando as primeiras folhas, chamadas de coleótilos, aparecem acima da superfície do solo. As condições de temperatura do solo (acima de 10 – 12 °C) e umidade adequada promovem a rápida emergência (5 a 7 dias).

V1 (Primeira folha): Primeira folha com colar visível (estrutura encontrada na base da folha) e ponta arredondada. A partir desse ponto até o florescimento (R1), os estádios vegetativos são definidos a partir da última folha desenvolvida com colar visível (VN, onde N = número de folhas).

V2 (Segunda folha): Raízes nodais começam a crescer abaixo do solo, e as raízes seminais começam a senescer.

V4 (Quarta folha): As raízes nodais são dominantes, ocupando maior volume de solo em comparação com as raízes seminais. As folhas ainda se desenvolvem no meristema apical (ponto de crescimento da planta).

V6 (Sexta folha): Seis folhas com colar visível. A primeira folha com ponta arredondada apresenta-se em senescência, mas, mesmo assim, deve ser levada em consideração na contagem. Nesta fase, o ponto de crescimento emerge e encontra-se acima da superfície do solo. Todas as estruturas da planta já tiveram seu crescimento iniciado. Entre V6 e V10, o potencial do número de fileiras por espiga é determinado.

V10 (Décima folha): Raízes aéreas começam a se desenvolver nos nós da planta, logo acima da superfície do solo. Até esse estágio a taxa de desenvolvimento das folhas é de aproximadamente 2 a 3 dias por folha.

V14 (Décima quarta folha): Décima quarta folha Rápido crescimento, aproximadamente duas semanas antes do florescimento. Nessa fase o milho é altamente sensível ao estresse por altas temperaturas e seca. Mais 4 ou 6 folhas devem se expandir a partir desse estágio até VT.

VT (Pendoamento): O potencial de grãos por fileira na espiga é definido e, conseqüentemente, o potencial do número final de grãos (a partir do número de óvulos). O potencial do tamanho das espigas começa a ser definido.

R1 (Embonecamento e Polinização): O florescimento começa quando os “cabelos” se projetam para fora da palha, os primeiros a emergirem são responsáveis pela polinização dos grãos da base da espiga.

R2 (Grão Bolha D’água): O “cabelo” do milho escurece e começa a secar (aproximadamente 12 dias após R1). O grão se assemelha a uma bolha com coloração branca e fluido transparente em seu interior. Nesta fase o grão apresenta 85% de umidade.

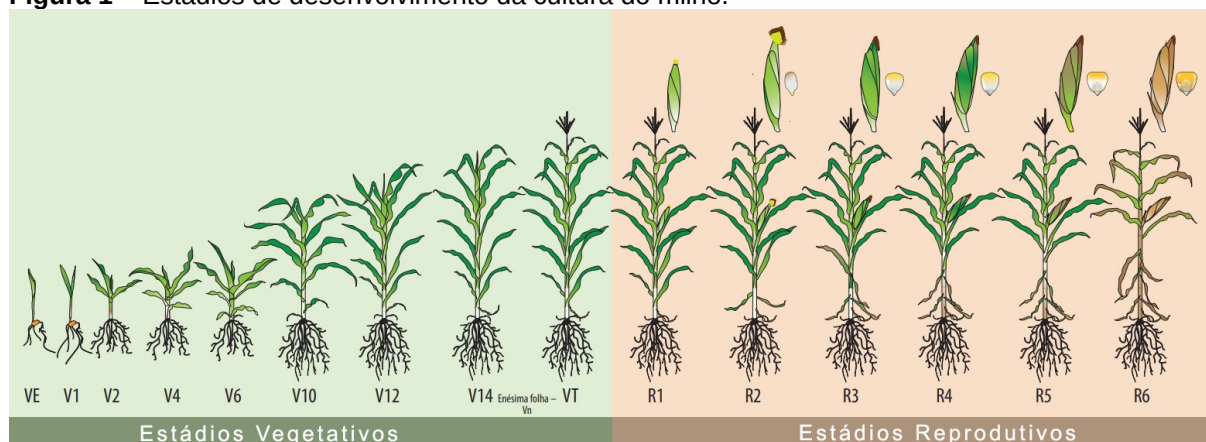
R3 (Grão Leitoso): “Cabelo” do milho seca (aproximadamente 20 dias após R1). O grão torna-se amarelado e um fluido semelhante ao leite pode ser extraído quando este é esmagado com os dedos.

R4 (Grão Pastoso): Pelo acúmulo de amido o grão apresenta consistência pastosa (aproximadamente 26 a 30 dias após R1). Nesta fase, ocorre um rápido acúmulo de nutrientes e amido; o grão possui 70% de umidade.

R5 (Formação de Dente): A maior parte dos grãos estão dentados, a umidade do grão cai para 55% (38 a 42 dias após R1) e o conteúdo de amido aumenta.

R6 (Maturidade Fisiológica): A camada preta se forma na base do grão, bloqueando o movimento de matéria seca e nutrientes da planta para os grãos (50 a 60 dias após R1). O grão atinge a sua maior massa seca (30 a 35% de umidade) e estão maduros fisiologicamente.

Figura 1 – Estádios de desenvolvimento da cultura do milho.



Fonte: adaptado de Ciampitti; Elmore; Lauer, (2016).

O período de crescimento e desenvolvimento do milho é limitado pela água, temperatura e radiação solar ou luminosidade. A cultura do milho necessita que os índices dos fatores climáticos, especialmente a temperatura, precipitação pluviométrica e fotoperíodo, atinjam níveis considerados ótimos, para que o seu potencial genético de produção se expresse ao máximo (MAPA, 2006)

A temperatura ideal para o desenvolvimento do milho, da emergência à floração, está compreendida entre 24 e 30 °C. Comparando-se temperaturas médias diurnas de 25 °C, 21 °C e 18 °C, verificou-se que o milho obteve maior produção de matéria seca e maior rendimento de grãos na temperatura de 21 °C. A queda do rendimento sob temperaturas elevadas se deve ao curto período de tempo de enchimento de grãos, em virtude da diminuição do ciclo da planta (CRUZ *et al.*, 2006).

O milho de variedade de ciclo médio cultivado para a produção de grãos secos consome de 400 a 700 mm de água em seu ciclo completo, dependendo das condições climáticas. O período de máxima exigência é na fase do embonecamento ou um pouco depois dele, por isso deficit de água que ocorrem nesse período são os que provocam maiores reduções de produtividade (CRUZ *et al.*, 2010).

A radiação solar é um dos parâmetros de extrema importância para a planta de milho, sem a qual o processo fotossintético é inibido e a planta é impedida de expressar o seu máximo potencial produtivo (CRUZ *et al.*, 2006).

No quesito adubação, o nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pelas gramíneas e, por isso, em muitas situações, é suprido insuficientemente. Em anos nos quais as condições climáticas são favoráveis à cultura do milho, a quantidade de N requerida para otimizar a produtividade de grãos pode alcançar valores superiores a 150 kg ha^{-1} . Quantidade tão elevada dificilmente será suprida somente pelo solo, havendo necessidade de usar outras fontes suplementares deste nutriente (AMADO; MIELNICZUK; AITA, 2002).

A cultura que antecede a safra deve ser analisada, uma vez que, associação do sistema plantio direto com o uso de leguminosas como cultura de cobertura promove aumento das reservas de N total do solo (AMADO; MIELNICZUK; FERNANDES, 2000). O teor de nitrogênio na planta é bastante relacionado em estudos com o teor de clorofila na folha (ARGENTA *et al.*, 2001).

3.3 FERTILIZANTE FOLIAR À BASE DE ÁGUA DE XISTO

Segundo a Petrobras (2013) a exploração do xisto iniciou em 1954, no município de Tremembé, Vale do Paraíba-SP. Em 1959, foi construída uma usina em São Mateus do Sul-PR. O início da operação da primeira unidade de produção ocorreu em 1972. Com a entrada em operação da segunda unidade, o módulo industrial, em dezembro de 1991, a Petrobras concluiu uma etapa importante de consolidação da tecnologia de extração e processamento do xisto, denominada Petrosix®.

Bioestimulantes são utilizados para biofortificar culturas agrícolas sem prejudicar seu desenvolvimento, com boa relação custo-benefício (CRIZEL *et al.*, 2014). A água de xisto (AX) constitui-se um dos subprodutos do processamento industrial do xisto. Diariamente, são produzidos cerca de 300 m^3 , os quais permanecem em sistema fechado na Unidade de Retortagem do Processo Petrosix®, desenvolvido pela Petrobras-SIX, São Mateus do Sul-PR (PETROBRAS, 2013). A diversidade e concentração de compostos orgânicos e inorgânicos em sua matriz, oriundos da vaporização de compostos orgânicos e da água estrutural presentes no folhelho pirobetuminoso, confere um potencial de uso deste subproduto líquido como matéria-prima para a produção de fertilizantes foliares.

Adicionalmente, estudos realizados pela Embrapa Clima Temperado (Pelotas-RS) tem indicado potencial para indução de resistência a doenças, através da ativação de grupos específicos de enzimas responsáveis pela produção de lignina e fitoalexinas. A água de xisto combinada com nutrientes inorgânicos em formulações de fertilizantes foliares promoveu aumento no rendimento de grãos de milho (GARDIN *et al.*, 2010).

Gardin, Doume e Ferreira (2016) também mencionaram que, os tratamentos com fertilizante à base de água de xisto apresentaram tendência de acumular mais amido nos grãos, indicando estágio de maturação mais avançado. Um maior conteúdo de amido nos grãos é importante, pois este polímero constitui a principal reserva da semente e também é fonte de energia indispensável alimentação animal ou humana.

A AX, que foi caracterizada, padronizada e avaliada quanto a sua eficiência agrônômica pela Embrapa Clima Temperado, já está sendo comercializada pela Petrobras às empresas de produção de fertilizantes foliares do estado do Paraná (EMBRAPA 2008). Um desses fertilizantes que possuem a tecnologia Petrosix® é o AGROSIX®, produzido e distribuído pela MULCHING SIX DO BRASIL. Produto pioneiro na fertilização foliar bioestimulante, produzido a partir da AX, extrato de origem fóssil constituído por nutrientes, matéria orgânica, aminoácidos e hormônios. O produto comercial é registrado com as garantias de 16% de N, 4% de K₂O, 1% de Mg, 1,2% de S, 0,03% de B e 0,01% Mo (MULCHING, 2013).

Segundo Calonego, Palma e Foloni (2012) doses de 5 kg por hectare de nitrogênio proveniente de ureia e aplicado via foliar em V6 aumenta a produtividade da cultura do milho. Os autores não encontraram resposta significativa de aumento de altura, diâmetro de colmo ou de peso de grãos.

O produto utilizado no seguinte experimento pode gerar aumento de produtividade por possuir em sua composição 16% de nitrogênio, além de outros nutrientes e precursores hormonais.

Araújo *et al.* (2018, p. 177) concluíram que para a variável altura média de plantas, não houve diferencia significativa entre os tratamentos com agrosix® de 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 L ha⁻¹, assim como para a variável teor de clorofila e diâmetro de

colmo. Com relação à altura média da primeira espiga os tratamentos com 0; 1,0 e 2,0 L ha⁻¹ apresentaram médias superiores com relação aos demais tratamentos. Com relação as espigas, verifica-se que o tratamento com 2,0 L ha⁻¹ obteve o maior peso de espiga, peso médio de grãos e peso médio de 1000 grãos com relação aos demais tratamentos. Analisando as variáveis peso de sabugo, número de fileiras e número de grãos por fileiras os tratamentos não diferiram significativamente entre si. A produtividade foi significativamente superior no tratamento utilizado 2,0 L ha⁻¹, com um incremento de 9,7 sacas por ha com relação a produtividade da testemunha. Conclui-se que o tratamento com 2,0 L ha⁻¹ proporciona o melhor rendimento com relação a peso de espiga, produtividade e o peso de grãos.

3.4 SENSORIAMENTO REMOTO E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

O SR é importante pela temporalidade da informação juntamente com a expansão do acesso para uma visão panorâmica do terreno permitindo uma análise laboratorial de um modelo de superfície da Terra com baixo custo (NOVO, 1998), conforme citado por (BEVENUTO, 2017, p. 27).

Os sistemas imageadores fornecem como produto uma imagem da área observada, como, por exemplo, temos os “scanners” e as câmaras fotográficas, enquanto que os sistemas não-imageadores, também denominados radiômetros ou espectralradiômetros, apresentam o resultado em forma de dígitos ou gráficos. Os sensores também podem ser classificados como ativos e passivos. Os sensores passivos não possuem fonte própria de energia eletromagnética, enquanto os sensores ativos possuem. Eles emitem energia eletromagnética para os objetos terrestres e detectam a energia que é refletida (MORAES, 2002).

O comportamento espectral da vegetação apresenta duas bandas de absorção de REM (Radiação Eletromagnética) na faixa visível do espectro, sendo que a primeira banda fica situada próximo ao 0,48 µm devido a presença de pigmentos carotenoides, e a segunda banda fica a 0,68 µm devido ao processo de fotossíntese da vegetação. Essas duas bandas são formadas por um pico de absorção devido aos pigmentos do grupo clorofila. Ainda na faixa visível a vegetação apresenta elevada reflectância situada em torno de 0,5 µm, local que se

corresponde com a cor verde do espectro visível, dessa forma, tem-se a coloração verde das folhas (GASPAROTTO *et al.*, 2015).

Tem se conseguido em muitas espécies vegetais, uma correlação entre atributos biofísicos com a assinatura espectral delas, tais como: índice de área foliar (IAF), fitomassa, porcentagem de cobertura do solo, concentração de clorofila e radiação interceptada pelo dossel (EPIPHANIO *et al.*, 1996).

Os índices de vegetação são realizados através da álgebra das bandas espectrais. Como produto deles, normalmente temos um número, que varia entre 0 a 1 ou de -1 a 1, por exemplo, e serve como uma “nota” para a condição vegetal daquela parcela analisada.

3.5 ÍNDICE FOLAR VERDE (GLI)

Grande parte dos índices foliares, foi desenvolvida utilizando a banda do infravermelho próximo, o que traz a necessidade de um sensor que capta a banda do infravermelho. Contudo, vários índices foliares vem sido propostos, realizando a álgebra apenas de bandas visíveis (vermelho, verde e azul), que são captadas por sensores de custo mais baixo.

O Índice Foliar Verde (GLI – *Green Leaf Index*), é um exemplo de índice foliar do espectro visível. Foi desenvolvido por Louhaichi *et al.* (2001) conforme citado por Vicari (2015, p. 30), com o objetivo de avaliar o impacto do pastoreio em cultivos de trigo de inverno. Para identificar esse impacto, o GLI se baseia na relação entre as bandas vermelho, verde e azul, a fim de descrever a variação da área foliar da vegetação monitorada.

$$GLI = \frac{2 * verde - vermelho - azul}{2 * verde + vermelho + azul} \quad (1)$$

Louhaichi *et al.* (2001), conforme citado por Vicari (2015, p. 30), demonstraram que o gli apresentou bons resultados no mapeamento de uma área agrícola experimental utilizada como pastagem, identificando com precisão em regiões com baixo, médio e alto impacto causado pelos animais na vegetação.

Vicari (2015) propôs a utilização do IV e encontrou alta correlação dos dados do IV com medições biofísicas da cultura da canola de: altura e matéria seca total, matéria seca de haste e matéria seca de síliquis (vagens da canola).

Apesar do IV não ter sido proposto pelos autores para a utilização na cultura do milho, ele se mostrou bastante promissor quanto utilizado em gramíneas e na cultura da canola.

3.6 UTILIZAÇÃO DO CLOROFILÔMETRO PARA ESTIMAR O TEOR DE CLOROFILA E DE NITROGÊNIO NA FOLHA

O clorofilômetro é um instrumento que mede, de forma direta e não destrutiva, os teores de clorofila com base nas propriedades óticas das folhas (ARGENTA *et al.*, 2001).

Com relação à análise de correlação entre teor de N e clorofila extraível, verificou-se que apenas no estágio de seis a sete folhas o teor de N na folha não se correlacionou significativamente com os teores de clorofila total e de clorofilas a e b da folha. Nos estádios de 10 a 11 folhas expandidas e de espigamento, houve associação positiva entre essas variáveis. As leituras com o medidor portátil de clorofila correlacionaram-se positivamente com teor de N na folha nos três estádios avaliados. No entanto, apesar de significativa, a correlação foi menor no estágio de seis a sete folhas em relação aos outros dois estádios (ARGENTA *et al.*, 2001).

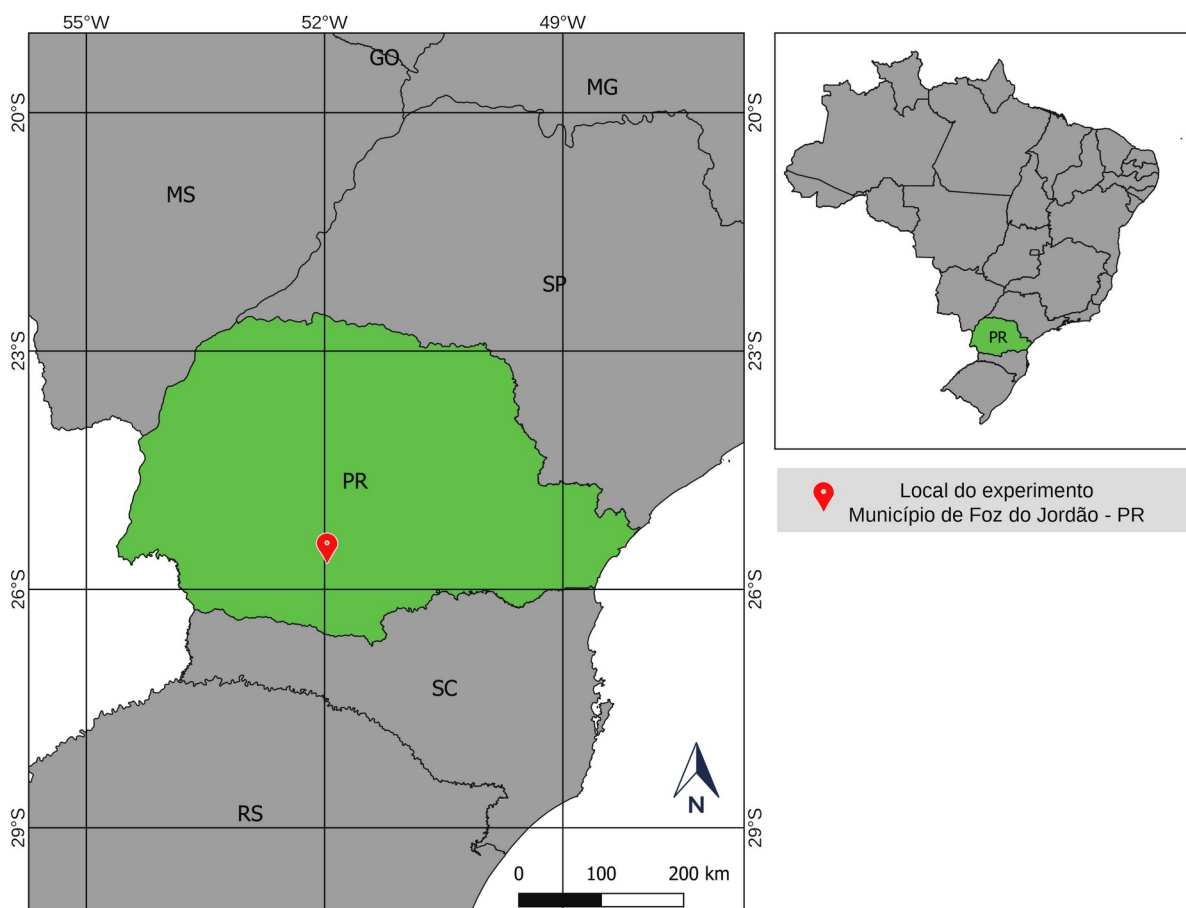
O teor relativo de clorofila na folha, avaliado pelo medidor portátil de clorofila, evidencia ser um bom parâmetro indicador do nível de nitrogênio em cereais. Além da sua utilização no manejo de N nos cereais, a determinação do teor de clorofila com clorofilômetro apresenta outras possibilidades de uso como na integração das medidas de solo com as leituras SPAD, na utilização em modelos de simulação de crescimento ou de monitoramento de mudanças no grau de esverdeamento da folha e na verificação do nível de N na comunidade de plantas através de sensoriamento remoto (ARGENTA *et al.*, 2001).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

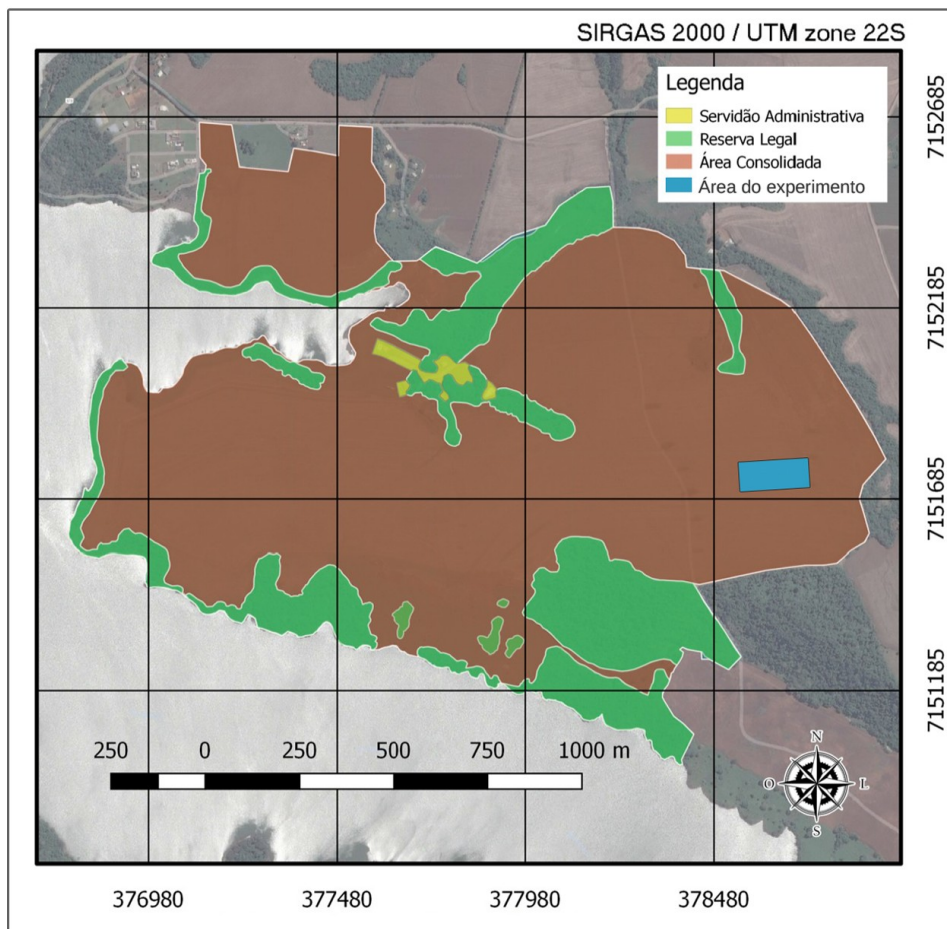
O experimento foi implantado na Propriedade Família Hermann, que possui histórico de oito anos de plantio direto com cultivos anuais, predominando as culturas da soja, milho, feijão e aveia (utilizada na janela de plantio do inverno como adubo verde). Fica localizada no município de Foz do Jordão, no Sudoeste do Paraná. Tem seu clima classificado como Cfb: clima temperado úmido com Verão temperado. E apresenta Latossolo como o tipo de solo predominante.

Figura 2 – Mapa de localização do município, onde foi realizado o experimento.



Fonte: o autor (2020). Mapa gerado através do software QGIS.

Figura 3 – Localização e distribuição de área dentro da propriedade.



Fonte: o autor (2019). Mapa gerado no software QGIS, com dados adaptados de Google Maps.

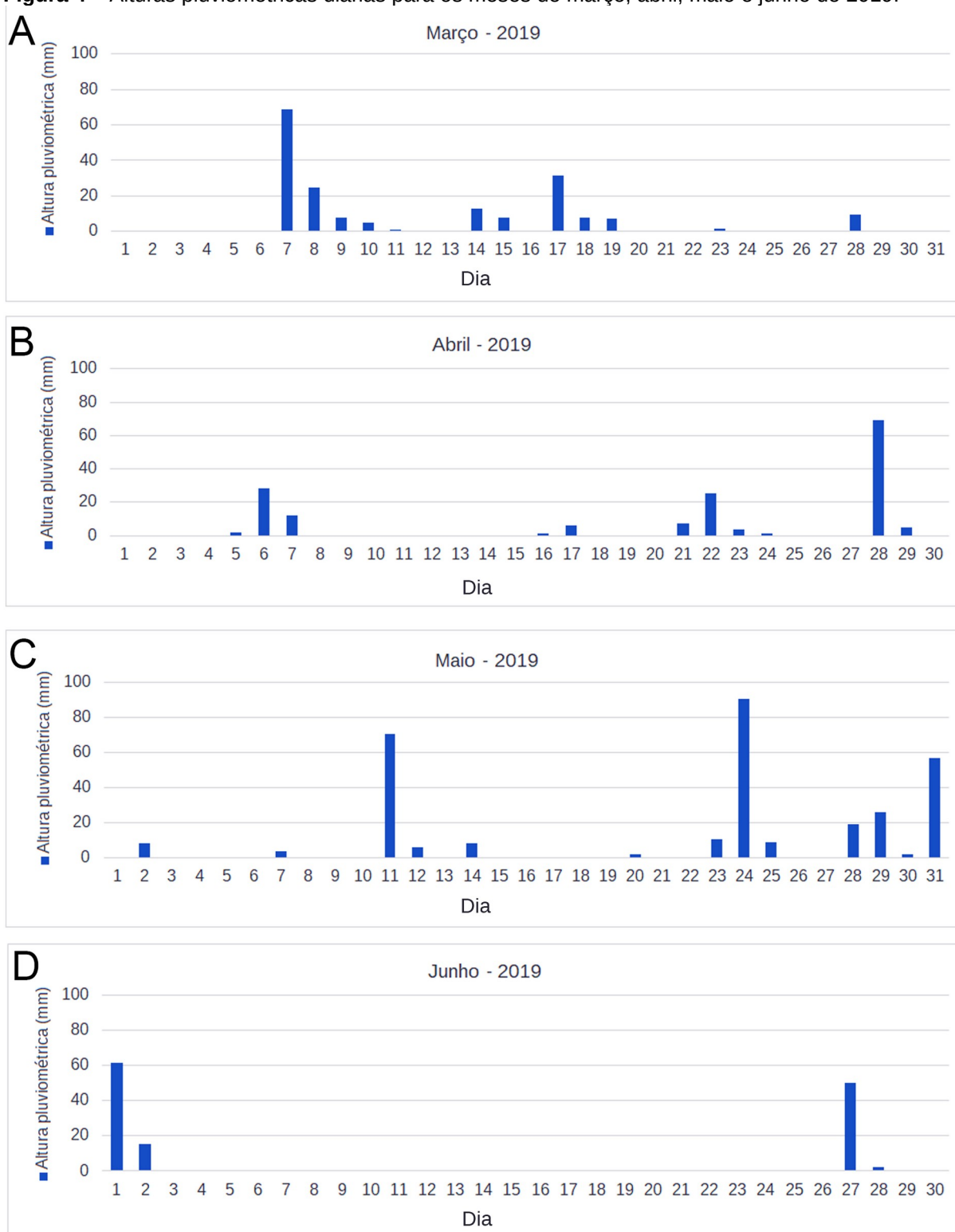
A área do experimento foi escolhida por ser uma área de milho próxima à estrada, o que deu fácil acesso para a realização das avaliações durante o experimento, mesmo depois que a cultura já havia se estabelecido. A área total do experimento foi de aproximadamente 1,6 ha.

4.2 REGIME DE CHUVAS NA ÁREA

Á área utilizada para o experimento, recebeu quantidade bastante satisfatória de chuvas. Durante o ciclo da cultura ela recebeu em torno de 734 mm de água como mostra a figura 4.

Sendo que, a quantidade de água consumida pela planta, durante seu ciclo, está em torno de 600 mm (LANDAU; MAGALHÃES; GUIMARÃES, 2006).

Figura 4 – Alturas pluviométricas diárias para os meses de março, abril, maio e junho de 2019.



Gráficos de altura pluviométricas diárias, produzidos de dados do IAT (2019), 2019. Na figura temos: (A) Gráfico das alturas pluviométricas diárias para o mês de março de 2019. (B) Gráfico das alturas pluviométricas diárias para o mês de abril de 2019. (C) Gráfico das alturas pluviométricas diárias para o mês de maio de 2019. (D) Gráfico das alturas pluviométricas diárias para o mês de março de 2019.

A grande quantidade de chuva durante o mês de março impediu a entrada dos implementos na lavoura, fazendo com que a fase ideal de aplicação da aplicação fosse perdida. É recomendado pela empresa responsável pelo produto, que a aplicação seja realizada entre os estádios fenológicos V4 e V8 (UNITY, 2020). Porém, devido à dificuldade de entrada na lavoura, a aplicação foi realizada mais tarde, no estágio fenológico V10.

Na Figura 4, onde temos as alturas pluviométricas (quantidade de água em mm) é possível observarmos o que ocorreu. Os dados de chuva foram utilizados da página do Instituto de Água e Terra. A estação meteorológica utilizada foi a denominada “Cachoeira”, no município de Candói, aproximadamente 40 km da área do experimento.

4.2 TRATOS CULTURAIS

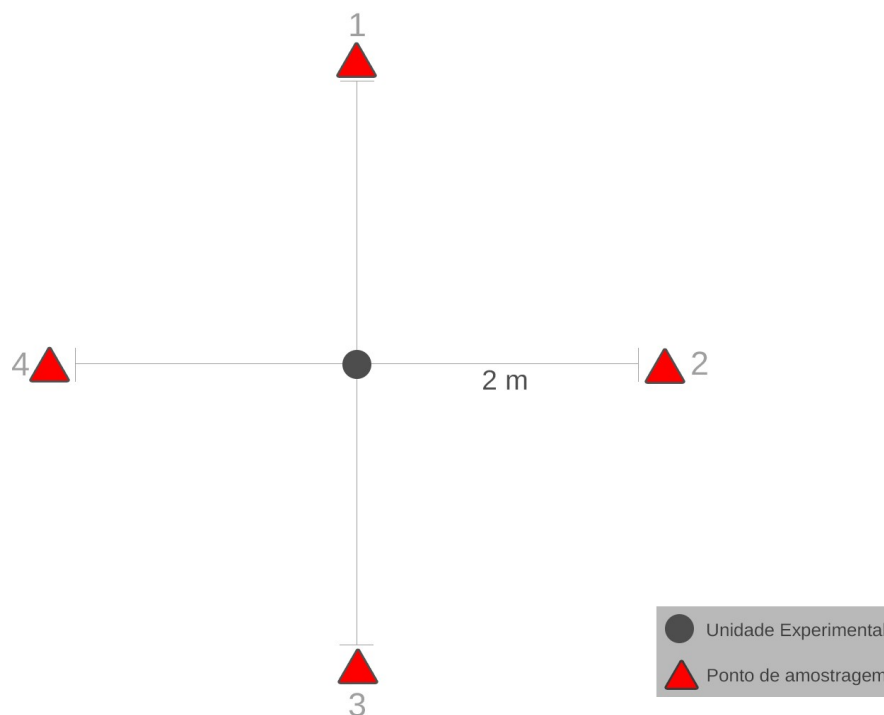
A semeadura foi realizada no dia 27 de fevereiro de 2019, utilizando sementes Agroceres do híbrido de milho AG 9030 PRO, que possui ciclo superprecoce, de aproximadamente 130 dias. Utilizando uma semeadora Tatu PST3 de 9 linhas com a seguinte configuração: espaçamento de 90 cm e 4,5 plantas por metro. O estande de plantas foi de aproximadamente 45 mil plantas por hectare, apresentando um grau de germinação em torno de 90%. Foi empregada a adubação em sulco durante a semeadura, com o adubo N-P-K, de concentração 8-20-20, na dose de 80 kg ha⁻¹. Posteriormente, 15 DAS (dias após semeadura) de março foi realizada a adubação de cobertura, com aproximadamente 120 kg de ureia por hectare.

4.3 FERTILIDADE DO SOLO

Foram coletadas amostras de solo para cada unidade experimental 14 das, aproximadamente em v4. para que o adubo n-p-k, que foi aplicado no plantio se incorporasse no solo, e entrasse na equação da análise de solo. foi utilizado o método de amostra composta, com quatro subamostras como mostra a figura 5,

coletadas de 0-20 cm de profundidade, misturadas e homogeneizadas para formar uma amostra de unidade experimental, totalizando 24 amostras.

Figura 5 – Esquema ilustrativo das amostragens.



Fonte: o autor (2020). Esquema ilustrativo de como foram realizadas as amostragens de solo e dos aspectos morfológicos. Para o índice GLI, seguiu-se o mesmo raio de 2 metros do ponto central, porém realizando 8 amostragens.

Todas as amostras foram secas, a aproximadamente 60 °C, e moídas em um moinho do tipo martelo antes de serem submetidas às análises no laboratório de química do solo da UTFPR-PB.

Tabela 1 – Dados de fertilidade, obtidos através das análises se solo.

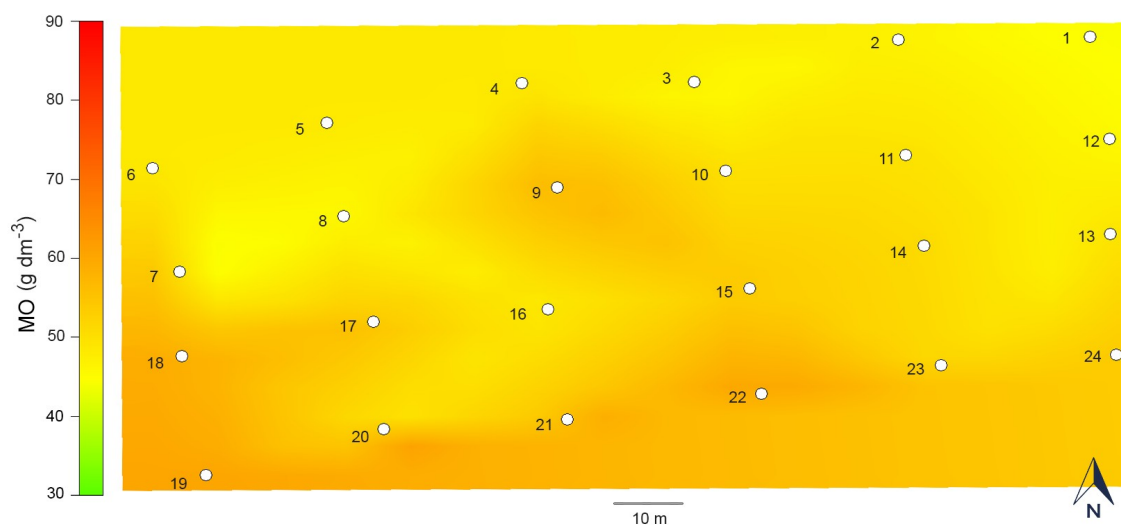
Característica do solo	Valor médio do solo	Valor médio
Matéria orgânica (g dm ⁻³)	50,6	31 a 60
P (mg dm ⁻³)	11,4	16 a 40
K (cmol _c dm ⁻³)	0,84	1,6 a 3
pH	5,5	5 a 6
V%	75,1	60 a 70
CTC (pH 7)	15	5 a 15
Saturação por Al %	0,08	30 a 50

Fonte: o autor (2020). Dados obtidos pelas análises de solo e comparados com os valores adaptados de Sobral et al., (2015).

A matéria orgânica foi obtida através da metodologia de digestão úmida; P e K extraídos em solução de Mehlich – 1; pH em CaCl_2 ; Ca, Mg e Al trocáveis extraídos com KCl 1 mol L^{-1} .

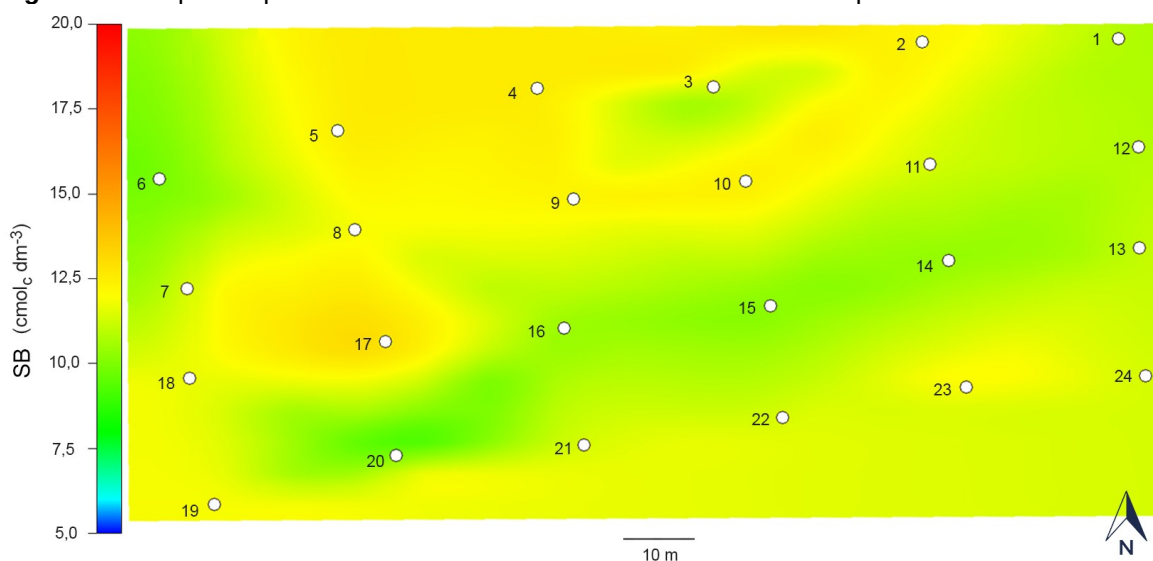
Foram gerados croquis da fertilidade do solo, com os dados interpolados por meio do software Global Mapper com os dados obtidos nas análises.

Figura 6 – Croqui interpolado de dados da quantidade de matéria orgânica na área do experimento.



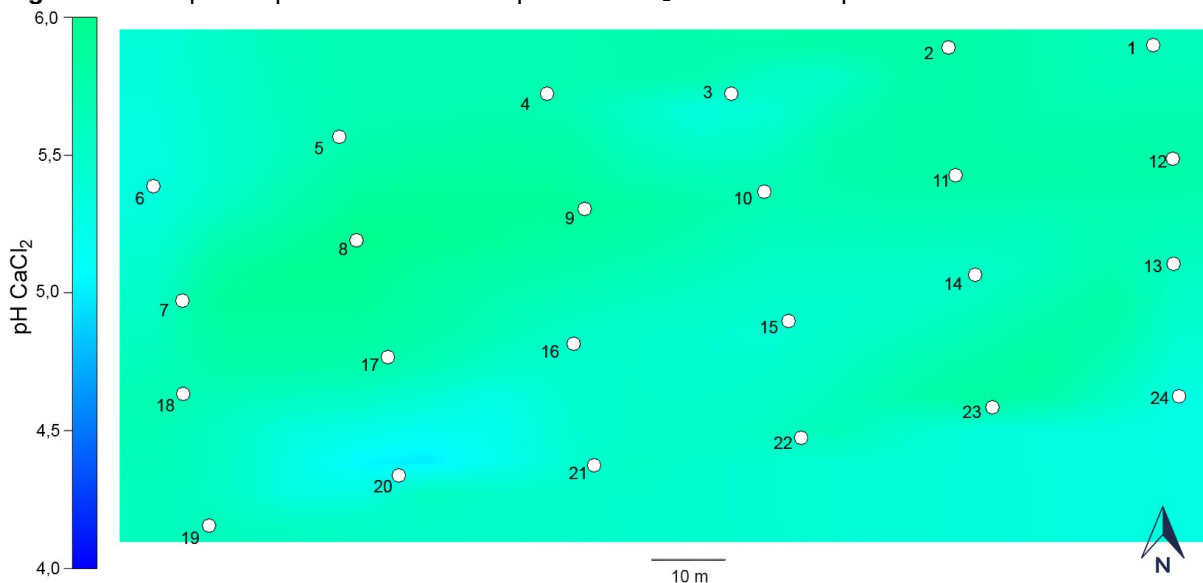
Croqui de fertilidade gerado através de dados interpolados no software Global Mapper por meio do método de Krigagem. Os dados de matéria orgânica foram obtidos através de análises de solo realizadas pelo laboratório de química do solo da UTFPR. A matéria orgânica foi quantificada por digestão úmida. As amostras foram retiradas de 0-20 centímetros de profundidade.

Figura 7– Croqui interpolado de dados da soma de bases da área do experimento.



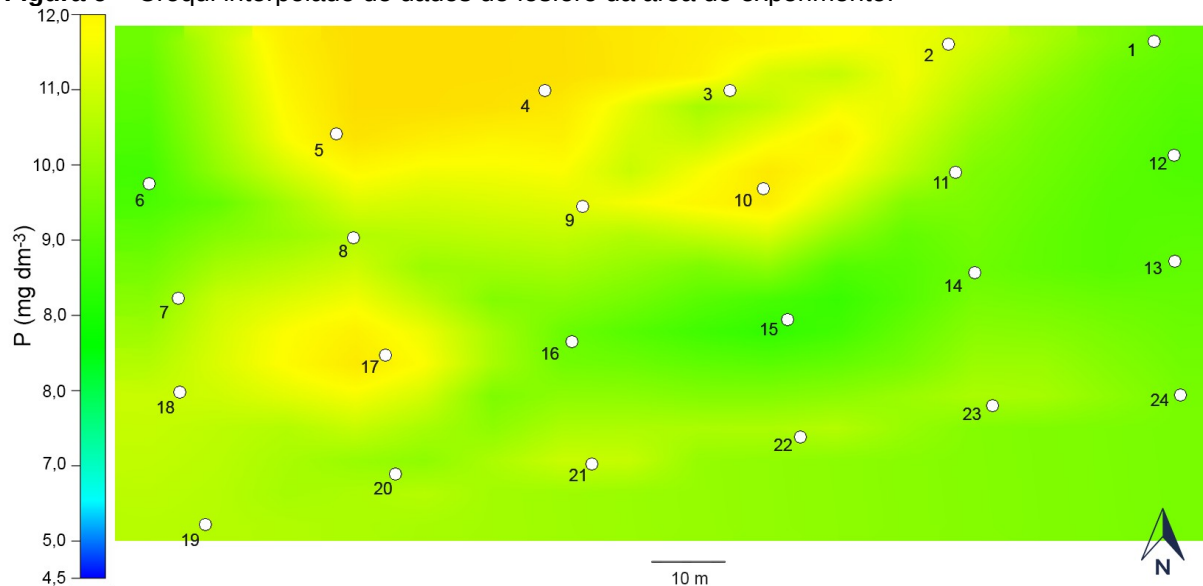
Croqui de fertilidade gerado através de dados interpolados no software Global Mapper por meio do método de Krigagem. Os dados de soma de bases foram obtidos através de análises de solo realizadas pelo laboratório de química do solo da UTFPR. A soma de bases é obtida pela equação $\text{SB} = \text{Ca}^2 + \text{Mg}^2 + \text{K}$. As amostras foram retiradas de 0-20 centímetros de profundidade.

Figura 8 – Croqui interpolado de dados de pH em CaCl₂ da área do experimento.



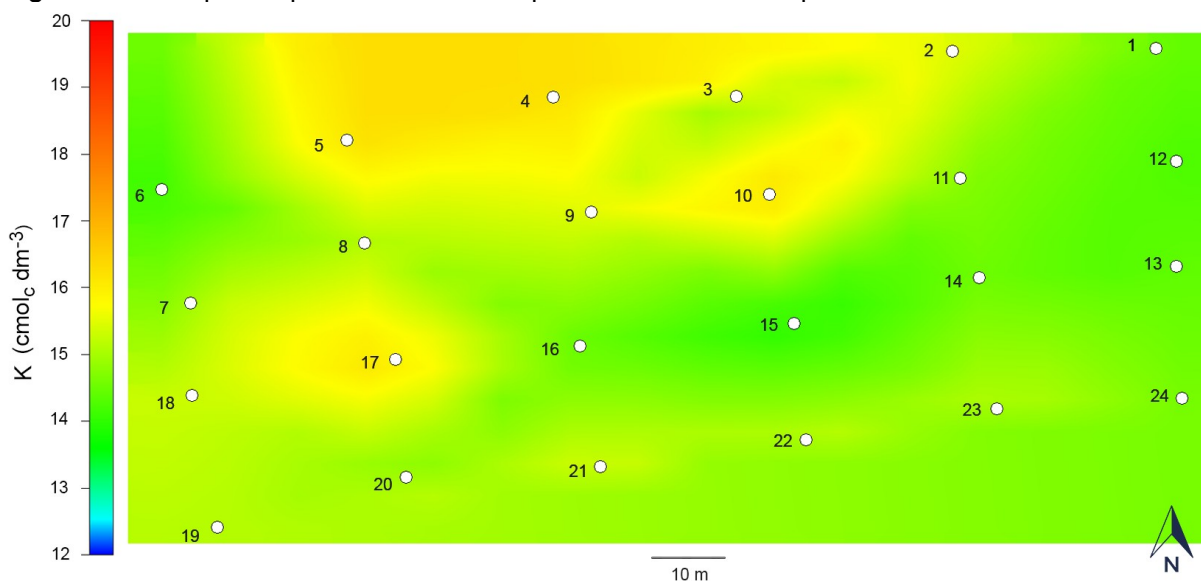
Croqui de fertilidade gerado através de dados interpolados no software Global Mapper por meio do método de Krigagem. Os dados de pH foram obtidos através de análises de solo realizadas pelo laboratório de química do solo da UTFPR. As amostras foram retiradas de 0-20 centímetros de profundidade.

Figura 9 – Croqui interpolado de dados de fósforo da área do experimento.



Croqui de fertilidade gerado através de dados interpolados no software Global Mapper por meio do método de Krigagem.. Os dados de P foram obtidos através de análises de solo realizadas pelo laboratório de química do solo da UTFPR. O fósforo foi extraído com solução de Mehlich – 1. As amostras foram retiradas de 0-20 centímetros de profundidade.

Figura 10 – Croqui interpolado de dados de potássio da área do experimento.



Croqui de fertilidade gerado através de dados interpolados no software Global Mapper por meio do método de Krigagem. Os dados de K foram obtidos através de análises de solo realizadas pelo laboratório de química do solo da UTFPR. O potássio foi extraído com solução de Mehlich – 1. As amostras foram retiradas de 0-20 centímetros de profundidade.

4.4 TRATAMENTOS

Os tratamentos foram divididos em blocos, com a pulverização acompanhando as linhas de plantio. Foi realizada a utilização de um grid em malha regular, com 18 metros de espaçamento vertical e 32 de espaçamento horizontal.

Tal espaçamento foi utilizado a fim de diminuir a dependência espacial entre os pontos amostrais.

Os pontos de coletas seguiram os esquemas descritos na figura 5 e 16, escolhendo plantas aleatórias num raio de 2 metros do ponto central. Sendo em cada uma delas, realizados quatro amostragens para os aspectos morfológicos e oito para o índice vegetal, estimativa de produtividade e PMG.

Cada ponto amostral do experimento foi marcado com estaca de madeira pintada de branco e teve suas coordenadas geográficas registradas por um receptor topográfico de navegação Garmin Etrex, que utiliza o sistema GPS e GLONASS simultaneamente. Para que fosse possível retornar precisamente aos pontos mesmo com as plantas ultrapassando a altura das estacas.

Figura 11 – Croqui experimental



Fonte: o autor (2020).

O experimento contou com quatro tratamentos, diferindo na quantidade aplicada do adubo foliar Agrosix®. Sendo respectivamente: testemunha, 1 litro por hectare, 2,5 litros por hectare e 4 litros por hectare. Onde a testemunha recebeu a aplicação apenas de água pura para que não fosse induzido um erro experimental.

4.4.1 APLICAÇÃO DO ADUBO FOLIAR À BASE DE ÁGUA DE XISTO

A aplicação foi realizada no estágio fenológico V10 com um pulverizador de modelo Advance 2000 AM 18 Vortex, da marca Jacto. Este possui capacidade para 2000 litros e 18 metros de barra, quando totalmente aberta. E também possui a tecnologia Vortex, que induz um fluxo de ar na direção da aplicação, a fim de aumentar a penetração do produto no dossel da planta e diminuir a deriva. Utilizando bicos de leque plano e velocidade de aproximadamente 5 km h⁻¹.

Figura 12 – Imagens da aplicação do adubo foliar, dia 23 de março de 2019.



Fonte: o autor (2019). (A) e (B) pulverização do produto, nesse momento era realizada a aplicação na testemunha, somente com água. (C) e (D) um dos momentos da adição do produto a calda de pulverização.

4.5 VARIÁVEIS ANALISADAS

A semeadura do milho foi realizada no final de fevereiro, e colhido para estimar a produtividade e peso de mil grãos 80 DAS, ainda antes do final do ciclo completo, que se deu 122 DAS. O que foi condizente com o ciclo médio da cultivar, que é de aproximadamente 130 dias.

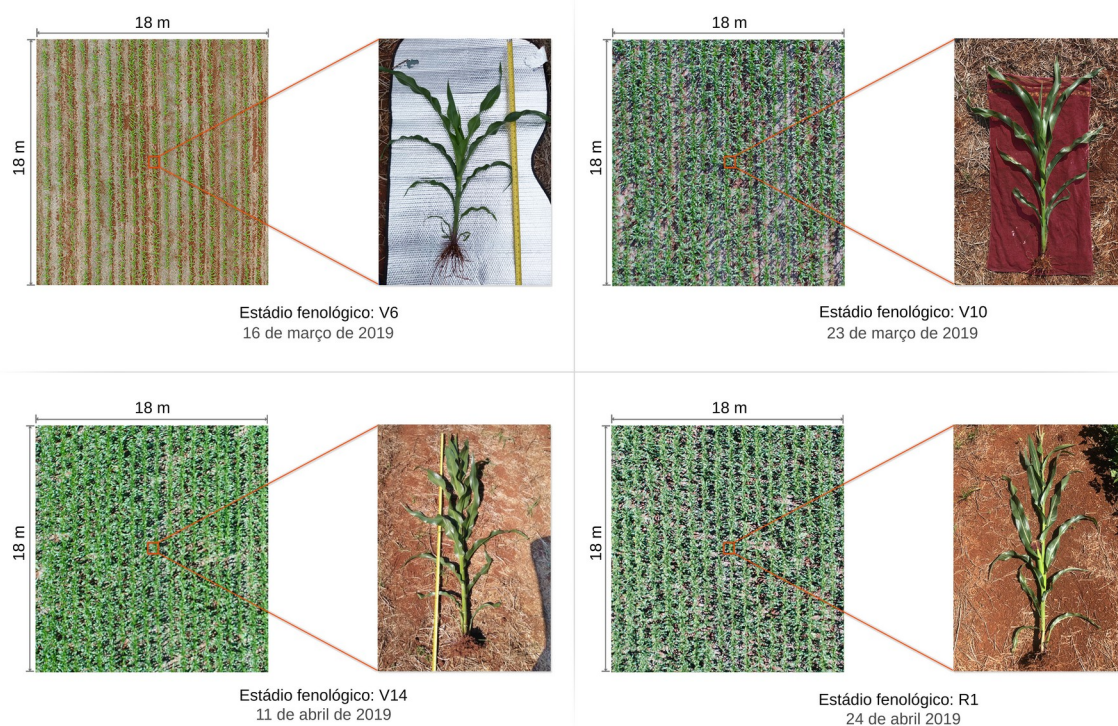
Na tabela 2 pode ser melhor entendido como ocorreram as amostragens durante o decorrer do trabalho.

Tabela 2 – Cronograma das atividades realizadas.

Data	27/02	13/03	16/03	23/03	11/04	24/04	17/05
DAS	0	14	17	24	43	56	80
Amostragem/ atividade	Semea dura	Amostragem de solo	Altura; diâmetr o de colmo; clorofila ; voo RPA	Altura; diâmetr o de colmo; clorofila ; voo RPA	Altura; diâmetr o de colmo; clorofila ; voo RPA	Altura; diâmetr o de colmo; clorofila ; voo RPA	Colheit a (estimat iva da produtiv idade e PMG)

Fonte: o autor (2019).

Nos quatro momentos foram avaliadas as variáveis de: altura, medida com uma trena, da base até o topo da planta, semesticá-la, em sua posição natural; diâmetro de colmo, medido na base da planta com o auxílio de um paquímetro digital com precisão de 0,1 milímetro; índice SPAD, para estimar a quantidade de clorofila A e B contidas na folha; voo com RPA, para a posterior obtenção do índice de vegetação GLI.

Figura 13 – Representação dos estádios fenológicos onde foram realizadas as avaliações.

nas aéreas retiradas dos voos que foram realizados com RPA. Retiradas aproximadamente da mesma área, para ilustração da fase fenológica da cultura. E imagens de uma planta retirada aleatoriamente nos respectivos dias. Fonte: autoria própria.

Para estimar a quantidade de clorofila na folha, foi utilizado um medidor eletrônico de clorofila da marca Falker e modelo CFL1030.

Ao final do experimento, no dia 17 de junho, foram colhidas oito plantas por unidade experimental, debulhadas com o auxílio de um debulhador mecânico, secas em estufa a aproximadamente 65 °C e depois pesadas para obtenção da produtividade.

As amostras de grãos foram submetidas a um medidor de umidade GEHAKA, modelo G800, e o peso de cada amostra foi corrigido para a umidade de 13% utilizando a equação proposta pelo MAPA, (2009).

$$\% \text{ de Umidade } (U) = \frac{100(P-p)}{P-t} \quad (2)$$

Onde:

P = peso inicial, peso do recipiente e sua tampa mais o peso da semente úmida;

p = peso final, peso do recipiente e sua tampa mais o peso da semente seca;

t = tara, peso do recipiente com sua tampa.

Para calcular a produtividade foi utilizada a seguinte equação:

$$\text{Produtividade } (t/ha) = \frac{\text{Produção por planta } (Kg) * n^{\circ} \text{ de plantas por ha}}{1000} \quad (3)$$

Para obter-se o Peso de mil grãos (PMG) foi utilizado o método sugerido pelo MAPA, (2009).

Foram realizadas oito repetições para cada amostra, contando 100 sementes e pesando com balança de precisão. Após isso foram utilizadas as equações para obtenção do PMG.

$$\text{Variância} = \frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)} \quad (4)$$

Onde:

x = peso de cada repetição

n = número de repetições

Σ = somatório

$$\text{Desvio Padrão}(S) = \sqrt{\text{variância}} \quad (5)$$

$$\text{Coeficiente de Variação}(CV) = \left(\frac{S}{X}\right) * 100 \quad (6)$$

Onde: **X** = peso médio de 100 sementes

O resultado da determinação é calculado multiplicando-se por 10 o peso médio obtido das repetições de 100 sementes, se o coeficiente de variação não exceder 4%.

4.6 ÍNDICE FOLIAR

O RPA utilizado no experimento foi um de modelo Phantom 4 Advanced, da marca DJI. Todos os voos foram realizados próximos ao meio dia, e com tempo ensolarado, para que não houvesse projeção de sombra nas plantas e as condições fossem sempre iguais.

Tabela 3 – Parâmetros principais do voo de aquisição de imagens com RPA.

Parâmetro	Valor
Altura de voo	65 metros
Tempo de voo	9 minutos e 30 segundos
Velocidade de voo	4 m/s
Área de cobertura	3 hectares
Imagens	154
Formato de imagem	JPEG
Resolução	1.9 cm / píxel
Baterias	1
Sobreposição lateral	80%
Sobreposição longitudinal	80%
Espaço de cores	sRGB
Sensor da câmera	1" CMOS, 20 milhões de pixels

Fonte: adaptado das informações do aplicativo Drone Deploy, que foi utilizado para a realização dos voos com RPA.

Figura 14 – Imagem representativa de um dos voos realizados durante o trabalho.



Fonte: o autor (2019).

As imagens aéreas obtidas foram processadas pelo software SIG, QGIS3, versão 3.12.2. Realizando a álgebra de bandas da equação 1 para a obtenção do índice GLI (do inglês: *green leaf index*).

$$GLI = \frac{2 * verde - vermelho - azul}{2 * verde + vermelho + azul}$$

Fonte: (VICARI, 2015).

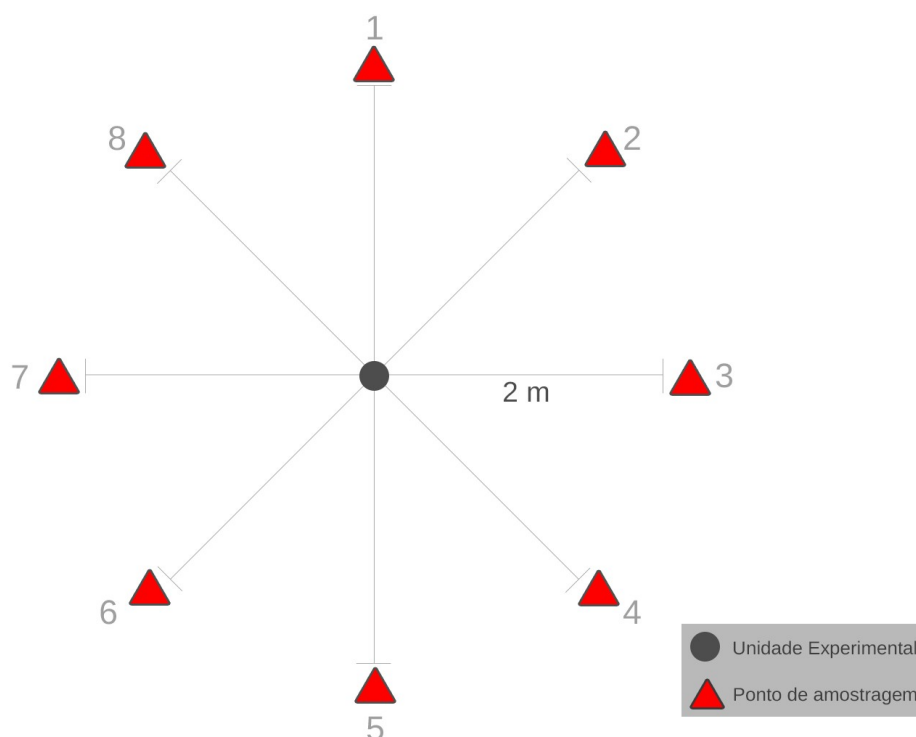
Figura 15 – Fluxograma do processo de obtenção dos dados do índice vegetal.



Fonte: autoria própria

Com a camada do índice gerada, utilizando a ferramenta de identificação de atributos, no software QGIS, foram selecionados 8 pontos aleatórios para cada unidade experimental, e anotados seus respectivos valores em uma planilha.

Figura 16 – Esquema de amostragem de píxels no software QGIS para obtenção das médias de GLI.



Fonte: o autor (2020).

4.7 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Os dados de todas as variáveis foram processados com o auxílio do software Genes, que é fornecido gratuitamente pela Universidade Federal de Viçosa. Para isto, os dados foram submetidos a análise ANOVA, para que fosse possível

determinar se eles seguiam uma distribuição normal, e não necessitavam de nenhum tipo de transformação.

Para cada avaliação, as médias dos tratamentos foram submetidas ao teste Tukey de comparação de médias, testando se havia diferença significativa entre os tratamentos à nível de 1 e 5% de probabilidade de erro.

Foi rodado um teste de Correlação de Pearson, onde foi possível observar quais dados se correlacionaram.

Para os dados que se mostraram correlacionados entre si, foi ajustado um gráfico de regressão linear, sendo assim, possível de se observar como, e em qual nível, ocorreu a correlação entre as variáveis.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 TESTES DE COMPARAÇÃO DE MÉDIAS ENTRE OS TRATAMENTOS

Os dados do índice GLI analisados nesse trabalho, mostraram que, possivelmente a alteração da refletância é mais presente nos estádios finais de desenvolvimento da cultura.

Nos estádios fenológicos V6 e V10, as plantas ainda não haviam recebido tratamento com o adubo foliar à base de água de xisto, e também se mostraram bastante homogêneas, portanto, não se faz relevante a apresentação de comparação de médias antes de V14.

Tabela 4 – Teste Tukey de comparação de médias do índice de vegetação GLI.

Tratamentos	Estádios fenológicos	
	V14	R1
4 litros ha ⁻¹	70,28 a	79,21 a
2,5 litros ha ⁻¹	67,45 a	66,83 b
1 litro ha ⁻¹	63,42 a	63,21 b
Testemunha	51,00 b	50,62 c

Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferiram significativamente pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade de erro.

Em V14 a média mais alta para os valores do índice de vegetação GLI, foi no tratamento de 4 litros por hectare, porém, os três tratamentos com adubo foliar, se diferenciaram apenas da testemunha. Em R1, o melhor tratamento foi novamente com 4 litros por hectare, se diferenciando dos demais. Os tratamentos de 2,5 e 1 litro por hectare, não se diferenciaram entre si.

Tabela 5 – Teste Tukey de comparação de médias de altura de planta, em centímetros.

Tratamentos	Estádios fenológicos	
	V14	R1
4 litros ha ⁻¹	210,17 a	232,67 ab
2,5 litros ha ⁻¹	215,71 a	235,75 a
1 litro ha ⁻¹	220,00 a	235,50 a
Testemunha	214,37 a	221,125 b

Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferiram significativamente pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade de erro.

O período final de desenvolvimento da cultura coincidiu com uma pausa nas chuvas, a maior durante o ciclo, de aproximadamente 16 dias até o

momento em que foram colhidas as amostras para a estimativa de produtividade. Pode haver relação com o fato das plantas que tiveram o melhor desempenho foram as que receberam o tratamento com a maior concentração. Uma vez que, as plantas encontraram um cenário menos favorável a seu desenvolvimento, e as que receberam uma dose maior, estavam, de certa forma um passo a frente.

Para a variável de altura de planta em V14, não foi observada diferença significativa entre as médias. Em R1, a maior média de altura foi em 2,5 litros por hectare, porém os três tratamentos com adubo foliar não diferiram significativamente entre si.

Tabela 6 – Teste Tukey de comparação de médias de clorofila A.

Tratamentos	Estádios fenológicos	
	V14	R1
4 litros ha ⁻¹	40,84 ab	43,10 a
2,5 litros ha ⁻¹	42,07 a	43,20 a
1 litro ha ⁻¹	40,75 ab	42,48 a
Testemunha	39,00 b	43,30 a

Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferiram significativamente pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade de erro.

A maior média para clorofila A em V14 foi observada no tratamento de 2,5 litros por hectare, porém se diferiu significativamente apenas da testemunha. Os tratamentos de 1 e 4 litros por hectare não diferiram da testemunha. Em R1 não foi observada nenhuma diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 7 – Teste Tukey de comparação de médias de clorofila B.

Tratamentos	Estádios fenológicos	
	V14	R1
4 litros ha ⁻¹	16,90 a	19,43 a
2,5 litros ha ⁻¹	18,10 a	19,80 a
1 litro ha ⁻¹	18,38 a	19,45 a
Testemunha	18,45 a	18,60 a

Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferiram significativamente pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade de erro.

As melhores médias para clorofila B foram no tratamento de 1 litro por hectare em V14 e 2,5 litros por hectare em R1. Contudo, no teste de comparação de médias para os valores de clorofila B não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos.

Tabela 8 – Teste Tukey de comparação de médias de diâmetro de colmo, em milímetros.

Tratamentos	Estádios fenológicos	
	V14	R1
4 litros ha ⁻¹	23,10 a	23,79 ab
2,5 litros ha ⁻¹	23,78 a	24,23 a
1 litro ha ⁻¹	23,30 a	22,96 ab
Testemunha	23,12 a	22,68 b

Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferiram significativamente pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade de erro.

Em V14 não foi possível observar diferença significativa entre as médias para diâmetro de colmo. Em R1 a maior média foi observada no tratamento de 2,5 litros por hectare, porém se diferiu significativamente apenas da testemunha. Os tratamentos de 1 e 4 litros por hectare não se diferiram da testemunha.

Tabela 9 – Teste Tukey de comparação de médias de peso de mil grãos, em gramas.

Tratamentos	Médias
4 litros ha ⁻¹	28,51 a
2,5 litros ha ⁻¹	26,50 a
1 litro ha ⁻¹	26,31 a
Testemunha	25,81 a

Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferiram significativamente pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade de erro.

No teste Tukey de comparação de médias para os valores de peso de mil grãos, o maior valor foi para o tratamento de 4 litros por hectare. Porém não foi observada diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 10 – Teste Tukey de comparação de médias de produtividade, em sacas por hectare.

Tratamentos	Médias
4 litros ha ⁻¹	90,09 a
2,5 litros ha ⁻¹	85,75 b
1 litro ha ⁻¹	82,16 c
Testemunha	78,11 d

Médias seguidas de letras minúsculas distintas diferiram significativamente pelo teste de Tukey, com 5% de probabilidade de erro.

As médias de produtividade apresentaram diferença significativa em todos os tratamentos. A maior média foi obtida no tratamento com 4 litros por hectare.

5.2 TESTES DE CORRELAÇÃO DE PEARSON PARA OS DADOS

No estágio fenológico V6, quando testado o nível de correlação entre os dados, através de teste simples de correlação de Pearson, pôde ser observada correlação entre o índice GLI e o diâmetro de colmo; clorofila A e clorofila B; altura e diâmetro de colmo, à 1% de probabilidade de erro. À 5% de probabilidade de erro, as medidas de diâmetro de colmo se mostraram correlacionadas com os valores de clorofila A e produtividade.

Tabela 11 – Correlação de Pearson para a primeira avaliação, em aproximadamente V6.

Variáveis	Correlação	Probabilidade (%)
GLI x CLA	0,399	5,097 ns
GLI x CLB	0,092	67,152 ns
GLI x ALT	0,131	54,585 ns
GLI x COL	0,670	0,038 **
GLI x PMG	-0,076	72,125 ns
GLI x PRO	0,325	11,666 ns
CLA x CLB	0,835	0,0001 **
CLA x ALT	0,104	63,106 ns
CLA x COL	0,468	2,003 *
CLA x PMG	-0,098	65,097 ns
CLA x PRO	0,105	62,908 ns
CLB x ALT	-0,019	92,655 ns
CLB x COL	0,267	20,430 ns
CLB x PMG	-0,058	78,155 ns
CLB x PRO	0,017	93,381 ns
ALT x COL	0,576	0,322 **
ALT x PMG	-0,309	13,793 ns
ALT x PRO	-0,009	96,244 ns
COL x PMG	-0,275	19,027 ns
COL x PRO	0,458	2,303 *
PMG x PRO	-0,001	99,068 ns

Valores seguidos de ** e * são significativos à 1 e 5% de probabilidade pelo teste t. Valores seguidos de ns não apresentaram correlação significativa. As siglas das variáveis representam: GLI (índice foliar verde); CLA (clorofila A); CLB (clorofila B); ALT (altura); COL (diâmetro de colmo); PMG (peso de mil grãos); PRO (produtividade).

À nível de 1% de erro, as variáveis que se mostraram correlacionadas em V10 foram clorofila A e clorofila B; clorofila B e diâmetro de colmo; altura e diâmetro de colmo. Já à nível de 5% de probabilidade de erro, a clorofila A e o diâmetro de colmo; clorofila B e altura; altura e produtividade; diâmetro de colmo e produtividade; apresentaram correlação significativa.

Tabela 12 – Correlação de Pearson para a segunda avaliação, em aproximadamente V10.

Variáveis	Correlação	Probabilidade (%)
GLI x CLA	0,330	11,138 ns
GLI x CLB	-0,028	88,933 ns
GLI x ALT	0,376	6,655 ns
GLI x COL	0,101	64,198 ns
GLI x PMG	0,003	98,281 ns
GLI x PRO	-0,056	78,879 ns
CLA x CLB	0,835	0,0001 **
CLA x ALT	0,395	5,326 ns
CLA x COL	0,511	1,032 *
CLA x PMG	0,262	21,319 ns
CLA x PRO	0,015	94,271 ns
CLB x ALT	0,457	2,337 *
CLB x COL	0,636	0,0901 **
CLB x PMG	0,213	31,781 ns
CLB x PRO	0,291	16,327 ns
ALT x COL	0,691	0,0220 **
ALT x PMG	0,036	85,909 ns
ALT x PRO	0,431	3,365 *
COL x PMG	-0,028	89,020 ns
COL x PRO	0,459	2,286 *
PMG x PRO	-0,001	99,068 ns

Valores seguidos de ** e * são significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t. Valores seguidos de ns não apresentaram correlação significativa. As siglas das variáveis representam: GLI (índice foliar verde); CLA (clorofila A); CLB (clorofila B); ALT (altura); COL (diâmetro de colmo); PMG (peso de mil grãos); PRO (produtividade).

Tabela 13 – Correlação de Pearson para a segunda avaliação, em aproximadamente V14.

Variáveis	Correlação	Probabilidade (%)
GLI x CLA	0,5046	1,150 *
GLI x CLB	-0,387	5,8752 ns
GLI x ALT	-0,254	22,89 ns
GLI x COL	0,176	41,480 ns
GLI x PMG	0,240	25,596 ns
GLI x PRO	0,286	17,164 ns
CLA x CLB	0,204	33,947 ns
CLA x ALT	-0,115	59,735 ns
CLA x COL	0,390	5,682 ns
CLA x PMG	0,155	47,346 ns
CLA x PRO	0,053	80,061 ns
CLB x ALT	0,489	1,465 *
CLB x COL	0,318	12,616 ns
CLB x PMG	0,027	89,568 ns
CLB x PRO	-0,129	55,358 ns
ALT x COL	0,194	36,483 ns
ALT x PMG	-0,268	20,183 ns
ALT x PRO	0,148	50,523 ns
COL x PMG	0,201	34,679 ns
COL x PRO	0,152	48,335 ns
PMG x PRO	-0,001	99,068 ns

Valores seguidos de ** e * são significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t. Valores seguidos de ns não apresentaram correlação significativa. As siglas das variáveis representam: GLI (índice foliar verde); CLA (clorofila A); CLB (clorofila B); ALT (altura); COL (diâmetro de colmo); PMG (peso de mil grãos); PRO (produtividade).

Em V14, os valores do índice GLI com clorofila A, e clorofila B com altura, se mostraram correlacionados à nível de 5% de probabilidade de erro. As demais variáveis analisadas em V14 não apresentaram correlação significativa.

Tabela 14 – Correlação de Pearson para a última avaliação, em aproximadamente R1.

Variáveis	Correlação	Probabilidade (%)
GLI x CLA	0,048	81,737 ns
GLI x CLB	0,26	22,301 ns
GLI x ALT	0,535	00,686 **
GLI x COL	0,401	04,933 *
GLI x PMG	0,303	14,666 ns
GLI x PRO	0,582	0,286 **
CLA x CLB	0,587	0,262 **
CLA x ALT	-,157	46,845 ns
CLA x COL	0,169	43,402 ns
CLA x PMG	-0,110	61,444 ns
CLA x PRO	-0,182	39,672 ns
CLB x ALT	0,034	86,665 ns
CLB x COL	0,158	46,550 ns
CLB x PMG	0,151	48,684 ns
CLB x PRO	-0,138	52,627 ns
ALT x COL	0,459	2,285 *
ALT x PMG	0,016	93,674 ns
ALT x PRO	0,509	1,058 *
COL x PMG	0,064	76,258 ns
COL x PRO	0,517	0,935 **
PMG x PRO	-0,001	99,068 ns

Valores seguidos de ** e * são significativos a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t. Valores seguidos de ns não apresentaram correlação significativa. As siglas das variáveis representam: GLI (índice foliar verde); CLA (clorofila A); CLB (clorofila B); ALT (altura); COL (diâmetro de colmo); PMG (peso de mil grãos); PRO (produtividade).

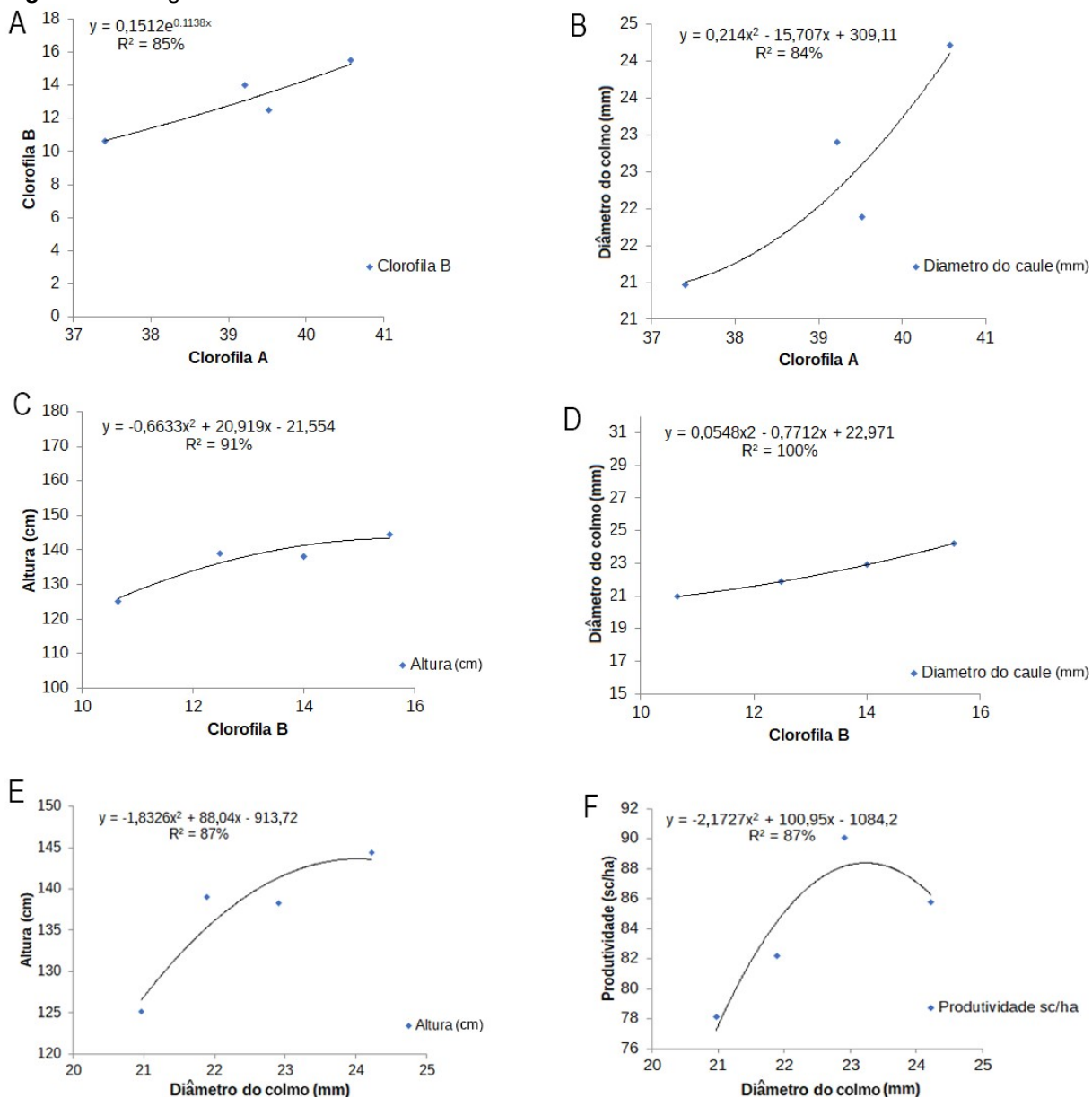
Em R1, o índice GLI se mostrou correlativo a altura e a produtividade à nível de 1% de probabilidade de erro, e ao diâmetro de colmo em 5%. Os níveis de clorofila A e B apresentaram correlação à nível de 1% de probabilidade de erro. Também apresentaram correlação os valores de altura com diâmetro de colmo; altura e produtividade; diâmetro de colmo e produtividade.

No estágio de desenvolvimento R1, quando ocorre a transição da fase vegetativa para a reprodutiva, foi onde o índice GLI se mostrou mais promissor. Apresentando correlação com mais aspectos morfológicos da planta de milho.

5.3 AJUSTES DE REGRESSÃO LINEAR

No estágio fenológico V10 foi possível ajustar regressão linear para as médias de clorofila A e B, com a equação $y = 0,1512e^{0,1138x}$, e os valores da clorofila A explicando 85% dos valores da clorofila B.

Figura 17 – Regressões lineares das variáveis em V10.



(A) Valores de clorofila B em V10, em função dos valores de clorofila A em V10. (B) Diâmetro de colmo em V10, em função dos valores de clorofila A em V10. (C) Altura de planta em V10, em função dos valores de clorofila B em V10. (D) Diâmetro de colmo, em função dos valores de clorofila B em V10. (E) Altura de planta em V10, em função do diâmetro de colmo em V10. (F) Produtividade, em função dos valores de diâmetro de colmo em V10.

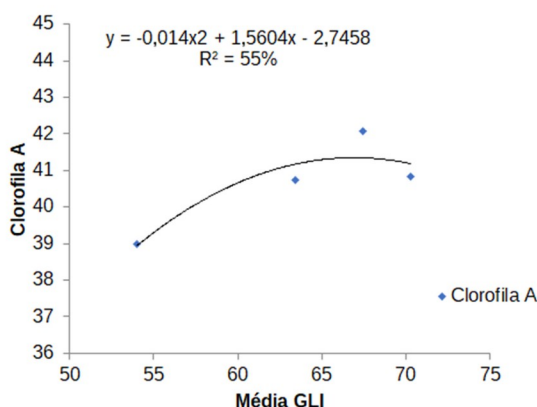
Para clorofila A explicando 84% dos valores de diâmetro de colmo, com a equação $y = 0,214x^2 - 15,707x + 309,11$. Clorofila B e altura, com a equação $y = -0,6633x^2 + 20,919x - 21,554$ e R^2 de 91%, e também clorofila B e diâmetro de colmo, com R^2 de 100% e equação $y = 0,0548x^2 - 0,7712x + 22,971$.

Percebe-se que há uma correlação positiva entre os teores de clorofila e os aspectos morfológicos de altura e de diâmetro de colmo, que pode ser explicado pela clorofila ser a principal molécula relacionada à fotossíntese, forma que as plantas transformam a energia solar em energia metabolizável, ou ATP. E essa proporciona a planta mais energia para crescimento, seja reprodutivo ou vegetativo nesse caso.

Também foi possível ajustar regressões lineares para o diâmetro de colmo com altura e produtividade, tendo ambos R^2 de 87%, com as respectivas equações, $y = -1,8326x^2 + 88,04x - 913,72$ e $y = -2,1727x^2 + 100,95x - 1084,2$.

O aumento do diâmetro de colmo teve comportamento quadrático quando relacionado aos valores de produtividade, ou seja, até certo ponto plantas mais espessas produziram mais, porém após o ponto de máxima a produtividade começou a diminuir.

Figura 18 – Regressão linear das variáveis em V14.



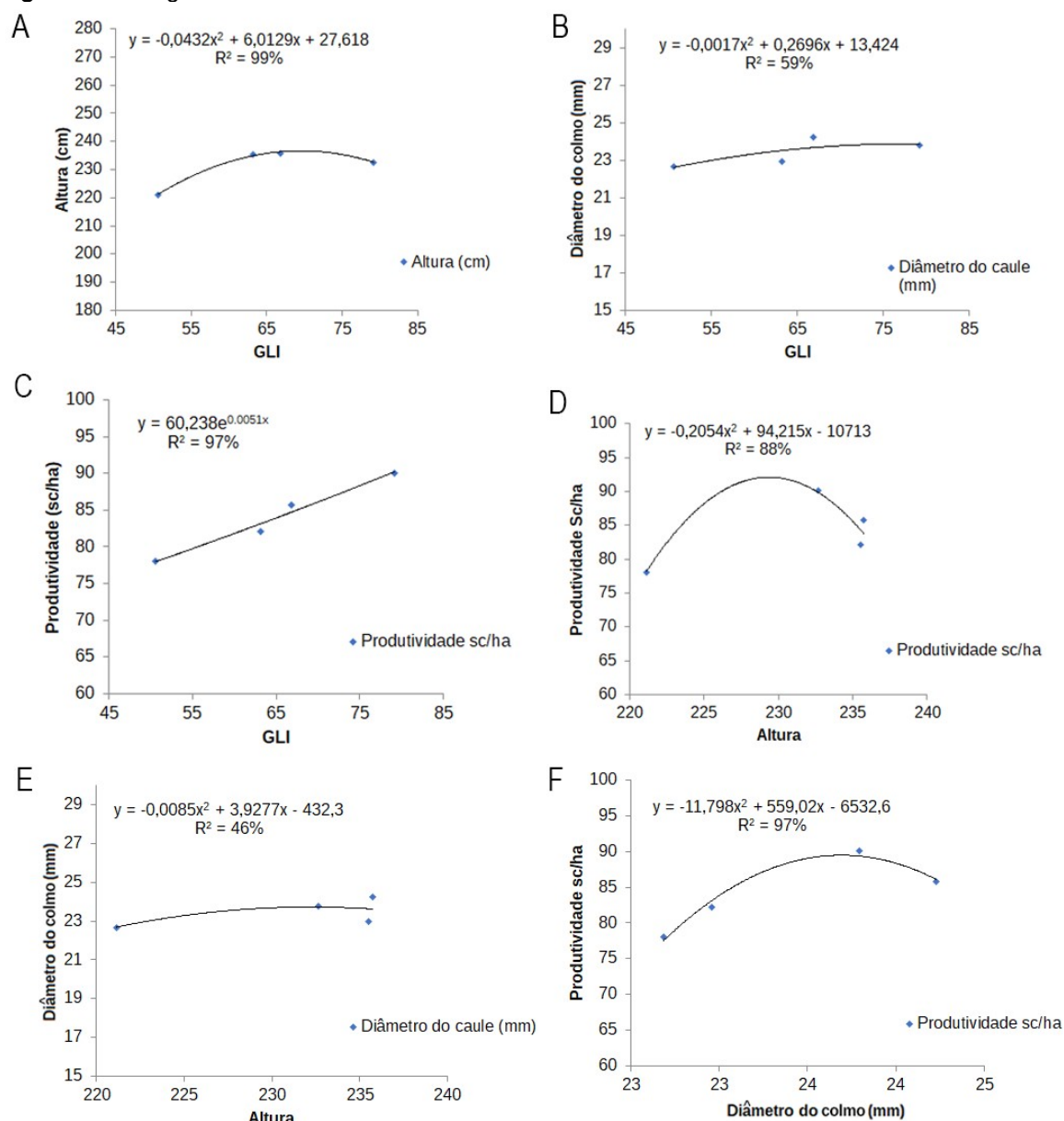
Valores do índice de clorofila A lido no clorofilômetro em V14, em função dos valores do índice GLI em V14.

Isso pode ser explicado pela relação fonte e dreno que acontece na fisiologia vegetal, o colmo além de sustentar as folhas também serve de reserva de energia, que na fase reprodutiva é translocada para os grãos (MAGALHÃES; DURÃES; GOMIDE, 1996). Ou seja, plantas que destinam muito carboidrato para o

colmo, podem ter uma translocação de nutrientes para os grãos prejudicada, como pode ser observado na figura 17, no gráfico F.

Para as variáveis em V14 foi possível o ajuste de regressão linear para as médias dos valores do índice GLI em relação aos valores de clorofila A, com R^2 de 55% e equação $y = -0,014x^2 + 1,5604x - 2,7458$.

Figura 19 – Regressões lineares das variáveis em R1.



(A) Altura de planta em R1, em função dos valores do índice GLI em R1. (B) Diâmetro de colmo em R1, em função dos valores do índice GLI em R1. (C) Produtividade, em função dos valores de GLI em R1. (D) Produtividade, em função dos valores de altura de planta em R1. (E) Diâmetro de colmo em R1, em função dos valores de altura de planta em R1. (F) Produtividade, em função do diâmetro de colmo em R1.

Em R1, foi possível o ajuste de regressão linear para as médias dos valores do índice GLI em relação a altura de planta, diâmetro de colmo e produtividade, com R^2 de 99%, 59%, e 97%, e equações $y = -0,0432x^2 + 6,0129x + 27,618$; $y = -0,0017x^2 + 0,2696x + 13,424$ e $y = 60,238e^{0,0051x}$, respectivamente.

Para altura em relação a produtividade e diâmetro de colmo, com R^2 de 88% e 46%, e equações $y = -0,2054x^2 + 94,215x - 10713$ e $y = -0,0085x^2 + 3,9277x - 432,3$, respectivamente.

Realizar o voo com RPA na transição da fase vegetativa para a reprodutiva, pode ser a melhor opção. Em R1 o índice vegetal se mostrou mais promissor em relação aos outros voos, se mostrando uma forte ferramenta na estimativa de altura e de produtividade.

Também realizou-se um ajuste de regressão linear para as médias de diâmetro de colmo em relação as as médias de produtividade, com R^2 de 97% e equação $y = -11,798x^2 + 559,02x - 6532,6$.

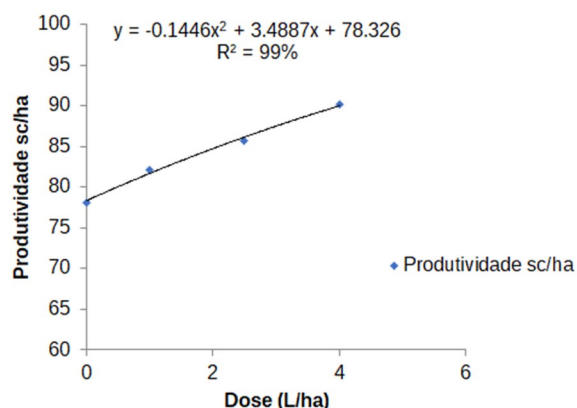
Em R1, pôde-se observar novamente, fato que aconteceu em também em V10, que é o comportamento de parábola para diâmetro de colmo em relação a produtividade. Que após certo tamanho de colmo, as plantas tendem a produzir menos como pode ser visto no gráfico F da figura 19.

Fato semelhante também ocorre no grafico D da figura 19, onde ocorreu a mesma situação para a altura relacionada a produtividade. O comportamento não é linear, ou seja, plantas maiores nem sempre apresentam maior produção de grãos.

O fator limitante para produção de grãos está relacionado com a habilidade da planta de mobilizar e armazenar produtos fotossintetizados nos grãos, e não da capacidade de produzir metabólitos (MAGALHÃES; DURÃES; GOMIDE, 1996, p. 19).

Para que ficasse claro como as doses se relacionaram com a produtividade, foi ajustado uma regressão entre as doses e as médias de produtividade, o que mostrou que doses maiores que 4 L ha^{-1} podem gerar ainda mais produtividade. Porém o comportamento é quadrático e já indica que a produtividade tende a estabilizar com o aumento da concentração do adubo foliar.

Figura 20 – Regressões lineares das médias de produtividade, relacionadas com a dose do produto.



Produtividade, em função das doses do bioestimulante Agrosix aplicadas em V10.

Para as médias de produtividade e os valores de dose do adubo foliar aplicada foi ajustada uma regressão linear também. Com a equação $y = -0,1446x^2 + 3,4887x + 78,326$ e um R^2 de 99%. Isso, fez com que pudessemos enxergar a interação do produto diretamente nos resultados de produtividade.

Segundo Calonego, Palma e Foloni (2012) doses de 5 kg por hectare de nitrogênio proveniente de ureia e aplicado via foliar em V6 aumenta a produtividade da cultura do milho. Os autores não encontraram resposta significativa de aumento de altura, diâmetro de colmo ou de peso de grãos. O que corrobora os resultados obtidos no trabalho. Acertar o momento correto da aplicação pode ser importante para se obter resultados mais expressivos.

6 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise de como o estimulante foliar produzido à base de água de xisto pode ter papel de grande importância no aumento da produtividade de uma safrinha de milho. Além disso, também mostrou que: o índice foliar GLI pode ser um bom aliado para estimar: a produtividade, a altura de planta e diâmetro de colmo quando o voo for realizado na transição da fase vegetativa para a fase reprodutiva (estádio fenológico R1), como mostra a tabela 14.

Os testes de Correlação de Pearson conseguiram mostrar que há correlação entre o aumento do diâmetro de colmo e o aumento nos teores de clorofila A e B nos estádios V6 e V10 porém, tal correlação não perdurou nos próximos estádios de desenvolvimento da cultura. Mostrou também que, no geral, os teores de clorofila A tem bastante correlação com os teores de clorofila B.

De acordo com os testes Tukey de comparação de médias, o estimulante foliar mostrou pouca efetividade em aumentar o teor de clorofila na folha, diâmetro de colmo e nem o peso de mil grãos. Onde em alguns casos apenas a testemunha apresentou diferença significativa em relação aos demais tratamentos, ficando com o pior resultado.

Os gráficos de regressão linear facilitaram o entendimento de que a produtividade quando relacionada aos aspectos morfológicos de altura e diâmetro de colmo se expressa em formato de parábola, ou seja, até certo ponto, plantas maiores se mostraram mais produtivas.

A relação de altura de planta e diâmetro de colmo, tem relação quadrática $a < 0$. Existe um ponto de máxima eficiência para altura e diâmetro de colmo, após isso, plantas que destinam muita energia para o crescimento vegetativo, podem ter a translocação dos carboidratos para o grão prejudicada.

Ajustar a regressão linear das doses do produto com os valores de produtividade indicou que, possivelmente doses maiores que 4 litros por hectare podem induzir produtividades ainda maiores.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dada a importância que o estimulante foliar à base de xisto pode ter no incremento da produtividade da cultura e a forte ferramenta que o índice foliar GLI pode ser no acompanhamento da safra, torna-se necessária a realização de mais estudos que envolvam tais produtos para que tenhamos embasamento científico para a utilização efetiva dos supracitados.

Apesar de o produto ter induzido um aumento significativo nos valores de produtividade, o mesmo não se mostrou eficiente no aumento de características como: altura, diâmetro de colmo, teores de clorofila e peso de mil grãos.

Portanto para estudos realizados futuramente recomenda-se testar outros componentes de rendimento do milho como número de espiga por planta e número de grãos por espiga. O que tornará possível identificar através de qual dos componentes se dá o aumento da produtividade.

Aplicar o produto no momento recomendado pela empresa, que é entre V4 e V8, pode induzir resultados mais expressivos, inclusive em variáveis que não demonstraram diferença significativa entre as médias.

Além dos componentes de rendimento, recomenda-se testar diferentes doses do produto, principalmente maiores que 4 L ha⁻¹ e, aplicação em diferentes estádios fenológicos. É possível que duas aplicações de 2 L ha⁻¹ tenham melhor desempenho que uma de 4 L ha⁻¹.

Recomenda-se também a utilização de diferentes índices foliares produzidos através das bandas RGB ou – quando possível a utilização de um sensor multiespectral – a utilização de índices que incluem a banda espectral do infravermelho, como o NDVI, por exemplo.

REFERÊNCIAS

- AMADO, Jorge Carneiro Telmo.; MIELNICZUK, João.; AITA, Celso. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 241–248, mar. 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000100025>.
- AMADO, Jorge Carneiro Telmo.; MIELNICZUK, João.; FERNANDES, Sandra Beatriz Vicenci. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 179–189, mar. 2000. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000100020>.
- ARAUJO, Juliana Coimbra; ARAUJO, José Sérgio de; PIZA, Mateus Ribeiro; RIBEIRO, Rafael Marques; FAVERO, Mariana Silva; OLIVEIRA, Larissa de. Efeito das diferentes doses de agrosix® nos parametros fitométricos no cultura do milho (zea mays l.). 2018. [S. l.: s. n.], 2018.
- ARGENTA, Gilber; SILVA, Paulo Regis Ferreira Da; BORTOLINI, Clayton Giani; FORSTHOFER, Everton Leonardo; STRIEDER, Mércio Luiz. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 2, p. 158–167, 2001. <https://doi.org/10.1590/S0103-3131200100020000>.
- ARIEIRA, Jailson de Oliveira. **Fundamentos do agronegócio**. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/69018017/fundamentos-do-agronegocio>. Acesso em: 1 dez. 2020.
- BARROS, José F. C.; CALADO, José G. A Cultura do Milho. mar. 2014. [other]. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/10804>. Acesso em: 1 dez. 2020. (Accepted: 2014-03-10T11:58:33Z).
- BEVENUTO, João Alberto Zago [UNESP. Uso de índices de reflectância foliar no monitoramento do patossistema Microcyclus ulei x seringueira. 15 dez. 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/153172>. Acesso em: 1 dez. 2020.
- CALONEGO, Juliano Carlos; PALMA, Homero Nicolás; FOLONI, José Salvador Simoneti. Adubação nitrogenada foliar com sulfato de amônio e ureia na cultura do milho. 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/953893/adubacao-nitrogenada-foliar-com-sulfato-de-amonio-e-ureia-na-cultura-do-milho>. Acesso em: 1 dez. 2020.
- CIAMPITTI, Ignacio; ELMORE, Roger W.; LAUER, Joe. **Corn growth and development**. [S. l.: s. n.], 2016. Disponível em: https://webapp.agron.ksu.edu/agr_social/m_eu_article.throck?article_id=1010. Acesso em: 1 dez. 2020.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. Boletim da safra de grãos. 2019. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos?start=20>. Acesso em: 1 dez. 2020.

CONGRO, Bertoldi, Christiane Rodrigues. **Água de xisto é comercializada - Portal Embrapa**. [S. l.: s. n.], 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/18031624/agua-de-xisto-e-comercializada>. Acesso em: 1 dez. 2020.

CRIZEL, Rosane Lopes; BOROWSKI, Joyce Moura; GALLI, Vanessa; MESSIAS, Rafael da Silva. Efeito de doses de “água de xisto” nos compostos fenólicos totais, atividade antioxidante total e teor de minerais em alface. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/clima-temperado/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1011301/efeito-de-doses-de-agua-de-xisto-nos-compostos-fenolicos-totais-atividade-antioxidante-total-e-teor-de-minerais-em-alface>. Acesso em: 1 dez. 2020.

CRUZ, José Carlos; FILHO, Israel A. Pereira; ALVARENGA, Ramon Costa; NETO, Miguel M. Gontijo; VIANA, João Herbert M.; OLIVEIRA, Maurílio Fernandes de; SANTANA, Derli P. Manejo da cultura do milho em sistema plantio direto. - Portal Embrapa. , p. 12, 2006. .

CRUZ, José Carlos; PEREIRA, Israel Alexandre; ALVARENGA, Ramon Costa; GONTIJO, Miguel M.; VIANA, João Herbert Moreira; MAURÍLIO FERNANDES DE OLIVEIRA; WALTER JOSÉ RODRIGUES MATRANGOLO; MANOEL RICARDO DE ALBUQUERQUE FILHO. **Cultivo do milho**. [S. l.: s. n.], 2010.

DUARTE, Jason de Oliveira; MATTOSO, Marcos Joaquim; GARCIA, João Carlos. Importância socioeconômica do milho. 2003. **AGEITEC**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_8_168200511157.html. Acesso em: 1 dez. 2020.

EPIPHANIO, José C. N.; GLERIANI, José M.; FORMAGGIO, Antonio R.; RUDORFF, Bernardo F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, n. 6, p. 445–454, 1 jun. 1996. .

GARDIN, João; BETTONI, Jean; SILVEIRA, Carlos; LEVEK, Marcos; RODRIGUES, Oclair. Uso de fertilizante foliar a base de Xisto Agrícola na cultura do milho. 13 set. 2010. [S. l.: s. n.], 13 set. 2010. <https://doi.org/10.13140/2.1.1160.0649>.

GARDIN, Joao Peterson Pereira; DOUME, Marta Eliane; FERREIRA, Luis Henrique Gularte. AVALIAÇÃO DO EFEITO DE FERTILIZANTES FOLIARES A BASE DE AGUA DE XISTO NA PRODUTIVIDADE E NA ATIVIDADE ENZIMÁTICA NA CULTURA DO MILHO. , p. 8, [s. d.]. .

GASPAROTTO, Aline; NANNI, Marcos; MIOTO, Liliane; GUIRADO, Gabriel; SILVA JUNIOR, Carlos Antonio; SILVA, Anderson; CEZAR, Everson; ROMAGNOLI, Franciele. Comportamento espectral de milho submetido a diferentes doses de nitrogênio. 1 jan. 2015. [S. l.: s. n.], 1 jan. 2015.

IAT, Instituto de Água e Terra. Sistema de Informações Hidrológicas - SIH. 2019. **Instituto Água e Terra**. Disponível em: <http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>. Acesso em: 9 dez. 2020.

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. 2018. **SIDR IBGE**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/lspa/brasil>. Acesso em: 1 dez. 2020.

LANDAU, Elena Charlotte; MAGALHÃES, Paulo César; GUIMARÃES, Daniel Pereira. Relações com o clima. 2006. **AGEITEC**. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_17_168200511157.html. Acesso em: 9 dez. 2020.

MAGALHÃES, Paulo César; DURÃES, Frederico O. M.; GOMIDE, Reinaldo Lúcio. Fisiologia da cultura do milho. 1996. .

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF: [s. n.], 2009.

MORAES, Elisabete Caria de. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. Ministério da ciência e tecnologia: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Disponível em: <http://mtc-m12.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/sergio/2005/06.14.12.18/doc>. Acesso em: 1 dez. 2020.

MULCHING, Mulching Six do Brasil. Agrosix fertilizante foliar bioestimulante. 2013. Disponível em: <http://agrotiagoltda.comunidades.net/agrosix-fertilizante-foliar-bioestimulante>. Acesso em: 1 dez. 2020.

PETROBRAS, Petróleo Brasileiro S.A. Unidade de industrialização do xisto. 2013. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/refinarias/unidade-de-industrializacao-do-xisto-six.htm>. Acesso em: 1 dez. 2020.

SOBRAL, Lafayette Franco; BARRETO, Marcos Cabral de Vasconcellos; AIRON JOSÉ, Silva; ANJOS, Joézio Luiz. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solo. , p. 15, 2015. .

UNITY, UNITY AGRO. Agrosix. 2020. Disponível em: <https://www.unityagro.com.br/produtos/linha-stimulus/agrosix>. Acesso em: 10 dez. 2020.

VICARI, Matheus Boni. **Estimativas de variáveis biofísicas da canola com dados espectrais multisensor**. 2015. 2015. 148 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre., 2015. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1042005>. Acesso em: 1 dez. 2020.