

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA
AGR99006 – DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Luiza Rathke

00229852

“Sensoriamento remoto como ferramenta de fenotipagem aplicado ao melhoramento de milho”

PORTO ALEGRE, abril de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
CURSO DE AGRONOMIA

**Sensoriamento remoto como ferramenta de fenotipagem aplicado ao
melhoramento de milho**

Luiza Rathke
00229852

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito para obtenção do Grau de Engenheira
Agrônoma, Faculdade de Agronomia, Universidade
Federal do Rio Grande do Sul.

Supervisor de campo do Estágio: Eng. Agr. Martim Fogata Severo

Orientador Acadêmico do Estágio: Prof. Marcelo Teixeira Pacheco

COMISSÃO DE AVALIAÇÃO

Prof. Pedro Selbach Depto. de Solos (Coordenador)

Prof. Alexandre Kessler Depto. Zootecnia

Prof. José Antônio Martinelli Depto. Fitossanidade

Prof. Sérgio Tomasini Depto. de Horticultura e Silvicultura

Prof. Alberto Inda Jr. Depto. de Solos

Prof. Carla Andrea Delatorre Depto. de Plantas de Lavoura

Prof. André Luis Thomas Depto. de Plantas de Lavoura

Prof. Carine Simione Depto. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

PORTO ALEGRE, abril de 2020.

AGRADECIMENTOS

À minha família, principalmente aos meus pais Rita e Roque, por todo o amor que sempre me deram e por acreditarem nas minhas escolhas. Amo muito vocês.

Às minhas amigas de sempre, pelo suporte e cumplicidade; e aos amigos colegas de profissão, pelo companheirismo durante esses anos de graduação. Com vocês minha caminhada foi mais prazerosa.

À UFRGS e aos professores da Faculdade de Agronomia, por me formarem Engenheira Agrônoma.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso foi obtido a partir da realização do estágio na empresa Corteva Agriscience, na Estação de Pesquisa de Passo Fundo – RS, no período de 5 de agosto de 2019 à 4 de fevereiro de 2020. O objetivo do estágio foi acompanhar o processo de melhoramento genético de milho, com enfoque na análise de imagens de sensoriamento remoto, como ferramenta de fenotipagem, em ensaios de rendimento no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. As principais atividades envolveram a obtenção, processamento e análise de dados de sensoriamento remoto das características: número de plantas por parcela, intensidade de cor e cobertura verde do dossel e altura de plantas. Desta maneira, pode-se obter uma melhor compreensão do desenvolvimento de novas cultivares de milho e da importância das novas tecnologias de fenotipagem para o melhoramento de plantas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização das mesorregiões do Oeste Catarinense e do Noroeste Rio-Grandense.....	8
Figura 2	Logo oficial da Corteva Agriscience™.....	10
Figura 3	Reflectância típica do solo, de uma planta saudável e uma planta sob estresse.....	12
Figura 4	Visão esquemática das plataformas de fenotipagem de diferentes escalas (A) e exemplificação de diferentes espectros utilizados na fenotipagem de plantas (B).....	13
Figura 5	As principais técnicas envolvidas nos futuros estudos genéticos do milho em conjunto com a genômica, transcriptômica, metabolômica, proteômica e fenômica.....	17
Figura 6	Organização (A) e semeadura de ensaio (B).....	19
Figura 7	Espiga imatura protegida (A) e momento em que o pendão é protegido (B) na planta de milho	20
Figura 8	Drone modelo DJI Matrice 600 Pro.....	22
Figura 9	Caminho da semeadora (A), pontos de batida (B), <i>shapefile</i> (C), detalhe do <i>shapefile</i> (D) e a altimetria (E).....	23
Figura 10	<i>Shapefile</i> sobre a imagem ortomosaica com a presença do círculo azul na primeira parcela do ensaio.....	24
Figura 11	Exemplos de ortomosaico com falha causada por falta de sobreposição das imagens (A), e por desencontro da sobreposição das imagens (B).....	25
Figura 12	Parcela em análise de <i>Plot Quality</i>	25
Figura 13	Visualização da plataforma utilizada para o caminhamento virtual na análise de <i>Plot Score</i>	26
Figura 14	Área de ensaio com rastro dos rodados de pivô central de irrigação.....	27
Figura 15	Imagem de sensoriamento remoto em soja.....	28

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	7
2.	CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DO NOROESTE RIO-GRANDENSE E OESTE CATARINENSE.....	8
2.1.	Aspectos socioeconômicos.....	8
2.2.	Clima.....	9
2.3.	Solo.....	9
3.	CARACTERIZAÇÃO DA CORTEVA AGRISCIENCE.....	9
4.	REFERENCIAL TEÓRICO	11
4.1.	Fenômica.....	11
4.2.	Técnicas de imagem para fenotipagem vegetal	12
4.3.	Sensoriamento remoto na agricultura.....	14
4.4.	Fenotipagem de alto rendimento no melhoramento de plantas.....	14
4.5.	Caracterização fenotípica do milho.....	16
5.	ATIVIDADES REALIZADAS.....	18
5.1.	Atividades realizadas no <i>Nursery</i>	18
5.2.	Atividades realizadas no <i>Yield</i>	20
5.2.1.	Acompanhamento de voos do VANT.....	21
5.2.2.	Processamento e análise de imagens de sensoriamento remoto.....	23
5.2.3.	Avaliações de ensaios.....	27
5.2.4.	Atividades na cultura da soja.....	28
6.	DISCUSSÃO.....	28
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	30
	REFERÊNCIAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento da população global, a demanda por alimento deverá dobrar até 2050. Os caminhos para atender essa demanda, com menores impactos ambientais, poderá ser alcançando com rendimentos mais altos, através do aumento de insumos, práticas agronômicas aprimoradas, cultivares superiores e outras inovações (TILMAN *et al.*, 2011).

O melhoramento de plantas pode desempenhar um papel fundamental neste âmbito, criando cultivares com maior potencial de rendimento de grãos e maior tolerância aos estresses. O desenvolvimento de cultivares superiores depende da capacidade de projetar cruzamentos com características complementares e selecionar os melhores descendentes. Nesse sentido, o uso de métodos de fenotipagem de plantas, como parte de programas de melhoramento, tornou-se uma poderosa ferramenta de pesquisa, para ajudar os melhoristas a gerar cultivares mais adaptáveis a diversos cenários ambientais desafiadores (LOBOS *et al.*, 2017).

A obtenção tradicional de dados através de técnicas com baixo rendimento de aquisição, especialmente os métodos manuais, exige muito trabalho e é propensa a erros humanos. Embora os custos de sequenciamento do DNA e genotipagem tenham caído drasticamente na última década, o custo da mão-de-obra aumentou e a fenotipagem tornou-se o maior gargalo para conquistar todo o potencial que a genômica tem a oferecer ao melhoramento de plantas.

O sensoriamento remoto (SR) é uma ferramenta que permite a fenotipagem com alto rendimento de aquisição de dados, oferecendo uma abordagem rápida e não destrutiva para o monitoramento e avaliação das características das plantas. Os recentes avanços nas tecnologias de SR e no processamento de dados aumentaram as aplicações em condições de cultivo em campo, tornando-as viáveis ao melhoramento de plantas. Dentre as plataformas de SR, o veículo aéreo não tripulado (VANT) é o que apresenta maior precisão e eficiência na fenotipagem aplicada ao melhoramento em larga escala (TATTARIS *et al.*, 2016).

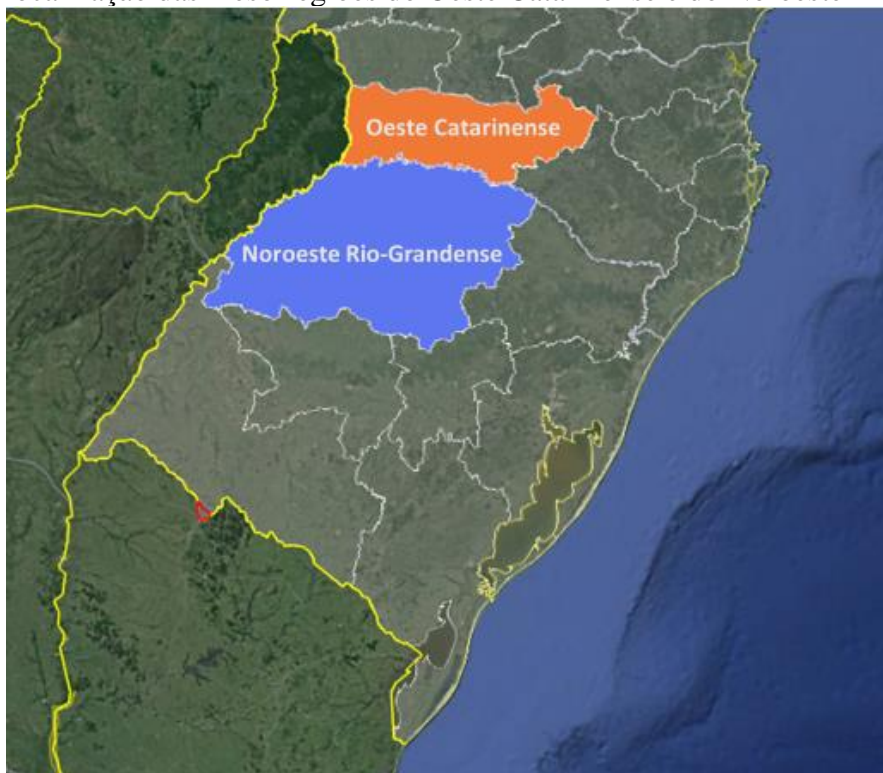
Neste contexto, a escolha pela realização do estágio na Corteva Agriscience foi motivada por ser uma empresa multinacional muito significativa no ramo do agronegócio, que é aliada às inovações tecnológicas. O estágio foi realizado na Estação de Pesquisa de Passo Fundo – RS, onde o melhoramento genético de milho é desenvolvido, supervisionado pelo pesquisador Eng. Agrônomo Martim Fogata Severo, durante o período de 5 de agosto de 2019 a 4 de fevereiro de 2020, totalizando 960 horas. A orientação acadêmica foi do Professor Marcelo Teixeira Pacheco. O objetivo do estágio foi acompanhar o processo de melhoramento genético de milho, com enfoque na análise de imagens de sensoriamento remoto como

ferramenta de fenotipagem, abrangendo ensaios a campo no Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

2. CARACTERIZAÇÃO DO MEIO FÍSICO E SOCIOECONÔMICO DO NOROESTE RIO-GRANDENSE E OESTE CATARINENSE

As atividades do estágio na Corteva Agriscience foram desenvolvidas no município de Coxilha- RS, que sedia a Estação de Pesquisa de Passo Fundo, mas também em diversos outros municípios distribuídos nas mesorregiões do Oeste Catarinense e do Noroeste Rio-Grandense, onde os ensaios de avaliação de genótipos do programa de melhoramento de milho são realizados (Figura 1).

Figura 1 – Localização das mesorregiões do Oeste Catarinense e do Noroeste Rio-Grandense.



Fonte: adaptado de IpeaGEO (2020).

2.1. Aspectos socioeconômicos

A mesorregião do Noroeste do Rio Grande do Sul possui 216 municípios, aproximadamente 1.946.632 habitantes, área de 64.942 km² e densidade demográfica de 30 habitantes/km². Já a mesorregião do Oeste Catarinense possui 118 municípios,

aproximadamente 1.200.802 habitantes, área de 27.275 km² e densidade demográfica de 44 habitantes/km² (IBGE, 2019).

Em ambas mesorregiões a agropecuária tem destaque econômico, sendo cada região a principal produtora de seu estado nesse setor. Em 2018, o Oeste Catarinense plantou 184.278 hectares de milho e obteve rendimento de 7,85 t/ha, mais de 50% a cima do que a média brasileira no mesmo ano e na cultura da soja, a área plantada foi de 338.692 hectares e produção de 1.192.118 toneladas. No Noroeste Rio-grandense a área plantada de milho foi de 339.706 hectares e produtividade de 7,96 t/ha e na soja, foram 3.094.664 hectares plantados e 10.724.927 toneladas produzidas (IBGE, 2019).

2.2. Clima

De acordo com a classificação climática de Köppen, as mesorregiões do Oeste Catarinense e do Noroeste Rio-Grandense apresentam clima Cfa e Cfb. Estas classificações se configuram por apresentarem clima temperado com estações bem definidas e úmido, com ocorrência de precipitação em todos os meses do ano. O clima que predomina nas áreas dos ensaios é o Cfa, caracterizado por verões quentes com temperatura média do ar no mês mais quente superior a 22 °C (ALVARES *et al.*, 2013).

2.3. Solo

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, os tipos de solo que predominam nas áreas dos ensaios são Latossolo Vermelho Distrófico, Latossolo Vermelho Distroférrico, Latossolo Bruno Distrófico e Cambissolo Háplico Ta Eutrófico (EMBRAPA, 2006).

3. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA CORTEVA AGRISCIENCE™

A Corteva Agriscence™ (Figura 2), antiga Divisão Agrícola da DowDuPont, é uma empresa de ciência agrícola, totalmente dedicada à agricultura. Combinando os pontos fortes das empresas Pioneer, DuPont Crop Protection e Dow AgroSciences, a Corteva Agriscence fornece aos produtores em todo o mundo um portfólio completo de produtos agrícolas, incluindo marcas de sementes como Pioneer e Brevant, além de produtos químicos de proteção de cultivos. A empresa, com sede em Wilmington nos EUA, está presente em mais de 130

países, possui mais de 100 instalações de produção e fabricação e mais de 160 instalações de pesquisa e desenvolvimento (CORTEVA, 2020)

Figura 2 – Logo oficial da Corteva Agriscience™.



Fonte: Corteva Agriscience™ (2020).

A Corteva Agriscience é resultado da fusão de três grandes empresas: a DuPont, fundada em 1802, que inicialmente foi uma empresa de fabricação de pólvora; a Dow Chemical Company, fundada em 1897, que atuava no ramo da fabricação de produtos químicos; e a Hi-Bred Corn Company, fundada por Henry A. Wallace em 1926, já voltada para o setor agrícola na área do melhoramento de plantas. Em 1935, a empresa de sementes de milho híbrido mudou seu nome para Pioneer Hi-Bred Corn Company.

No Brasil, em 1970 a Pioneer realizou parceria com a Proagro – Comércio de Indústria Pró-Pecuária Ltda., introduzindo híbridos de milho desenvolvidos nos EUA para plantio no Brasil. A parceria deu resultados positivos nas lavouras brasileiras, o que levou a aquisição da Proagro pela Pioneer. Para a fomentação das atividades da empresa no Brasil, foram instaladas, inicialmente, estações de pesquisa em Santa Rosa e Santa Cruz do Sul no Rio Grande do Sul, e em Itumbiara, em Goiás.

Em 1999 a DuPont se tornou proprietária da Pioneer. A fusão entre a Dow e a DuPont foi anunciada em 2015, já divulgando a posterior divisão desta fusão em três empresas independentes. Em 2018, a divisão agrícola da DowDuPont foi apresentada com o nome Corteva Agriscience™, tornando-se uma empresa independente e de capital aberto em 1º de junho de 2019 (CORTEVA, 2020).

Ao que se refere ao principal produto da Corteva, as sementes de cultivares de milho híbrido, no processo de desenvolvimento das cultivares até a comercialização das suas sementes, vários segmentos da empresa estão envolvidos, como a Pesquisa, o Comercial e a Agronomia. O segmento da Pesquisa, que desenvolve as cultivares híbridas, possui estações de pesquisa distribuídas pelo Brasil onde são conduzidos diferentes programas de melhoramento de milho com objetivos distintos, que variam principalmente quanto à época de plantio, nível de manejo, duração do ciclo da cultura e região de plantio. Após o desenvolvimento do híbrido, cabe ao segmento da Produção a multiplicação e processamento das sementes, para então o segmento Comercial fazer a distribuição aos produtores. Há ainda o segmento da Agronomia,

que acompanha desde o desenvolvimento da semente até o produtor final, contribuindo com a melhor caracterização das cultivares híbridas, além de desenvolver ensaios para a adequação do manejo das novas cultivares.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

A demanda crescente pelos produtos agrícola no mundo é decorrente, principalmente, do aumento da população humana, mas também pelo aumento do consumo de biocombustíveis e pelo aumento no consumo de carne e laticínios. Tilman *et al.* (2011) sugerem que essa demanda pode dobrar entre 2005 e 2050 e que o caminho mais sustentável para a segurança alimentar é o incremento do rendimento das culturas. A taxa de aumento no rendimento das culturas, necessária para dobrar a produção global até 2050, foi estimada em 2,4% ao ano. No entanto, o rendimento das quatro principais culturas está abaixo desse patamar: milho com crescimento de 1,6%, arroz com 1,0%, trigo com 0,9% e soja com 1,3% ao ano (RAY *et al.*, 2013).

4.1. Fenômica

A necessidade de aumentar a produção agrícola e a eficiência do uso de recursos naturais, para atender a demanda futura, exigirá o desenvolvimento de cultivares mais produtivas e adaptadas aos ambientes de cultivo. Para melhorar a eficiência do melhoramento genético é essencial que a fenotipagem acompanhe a ampla informação genética disponível (ZHAO *et al.*, 2019). A implementação de novas abordagens no melhoramento de plantas, como a aquisição de dados fenotípicos de alto rendimento de obtenção, são necessárias para acelerar a melhoria do potencial de rendimento das culturas. Essa abordagem pode prever características complexas, relevantes para a seleção de plantas, além de fornecer explicações do porquê determinados genótipos se destacam em um ambiente específico (LOBOS *et al.*, 2017).

O fenótipo é resultado da interação entre o genótipo e o ambiente. Esta interação acarreta em mudanças estruturais e fisiológicas na planta, influenciando o processo de crescimento e desenvolvimento da planta. Assim, a fenotipagem da planta pode ser observada em diferentes níveis de resolução, da molécula à planta inteira, em diferentes ambientes, em condições controladas ou a campo (LOBOS *et al.*, 2017). A fenômica vegetal foi definida por Houle *et al.* (2010) como a coleta de dados fenotípicos multidimensionais em vários níveis, desde o nível

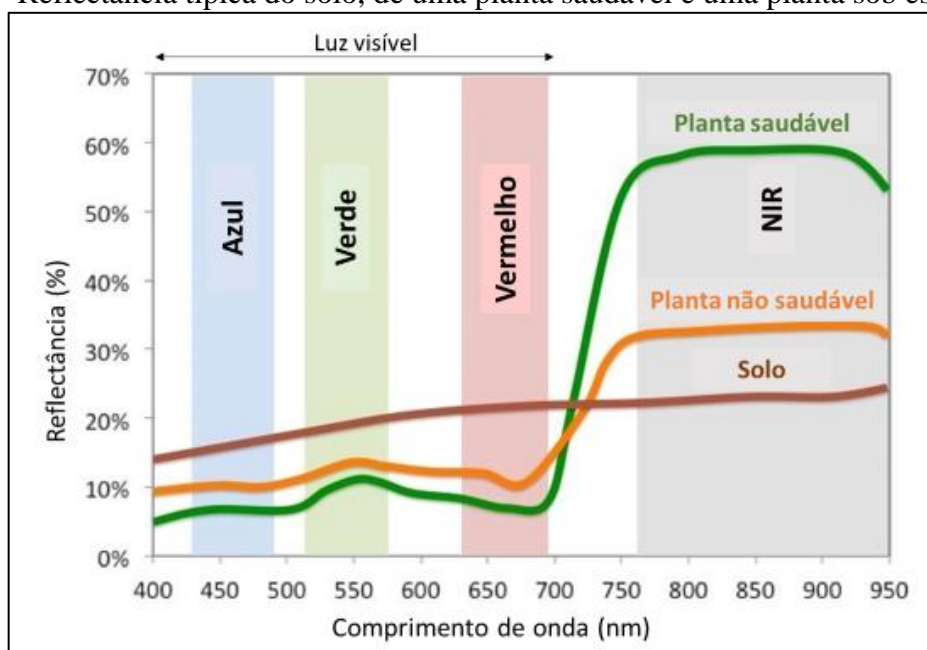
celular, de órgão, de planta e populacional. O estudo da fenômica integra várias áreas do conhecimento, como agronomia, ciências da vida e da informação, engenharia e matemática, com o objetivo de criar um sistema eficaz, capaz de fenotipar de maneira inteligente e automática, integrada a um banco de dados (ZHAO *et al.*, 2019).

4.2. Técnicas de imagem para fenotipagem vegetal

As técnicas de imagem são usadas para quantificar características dos indivíduos sob estudo, em ambiente controlado ou a campo. O objetivo do imageamento, ou seja, da obtenção de imagens por sensoriamento remoto, é determinar um fenótipo através da interação entre a luz e as plantas, com a quantificação dos fótons refletidos, absorvidos ou transmitidos. Cada componente das células e tecidos vegetais possui propriedades de absorvância, reflectância e transmitância específicas para cada comprimento de onda.

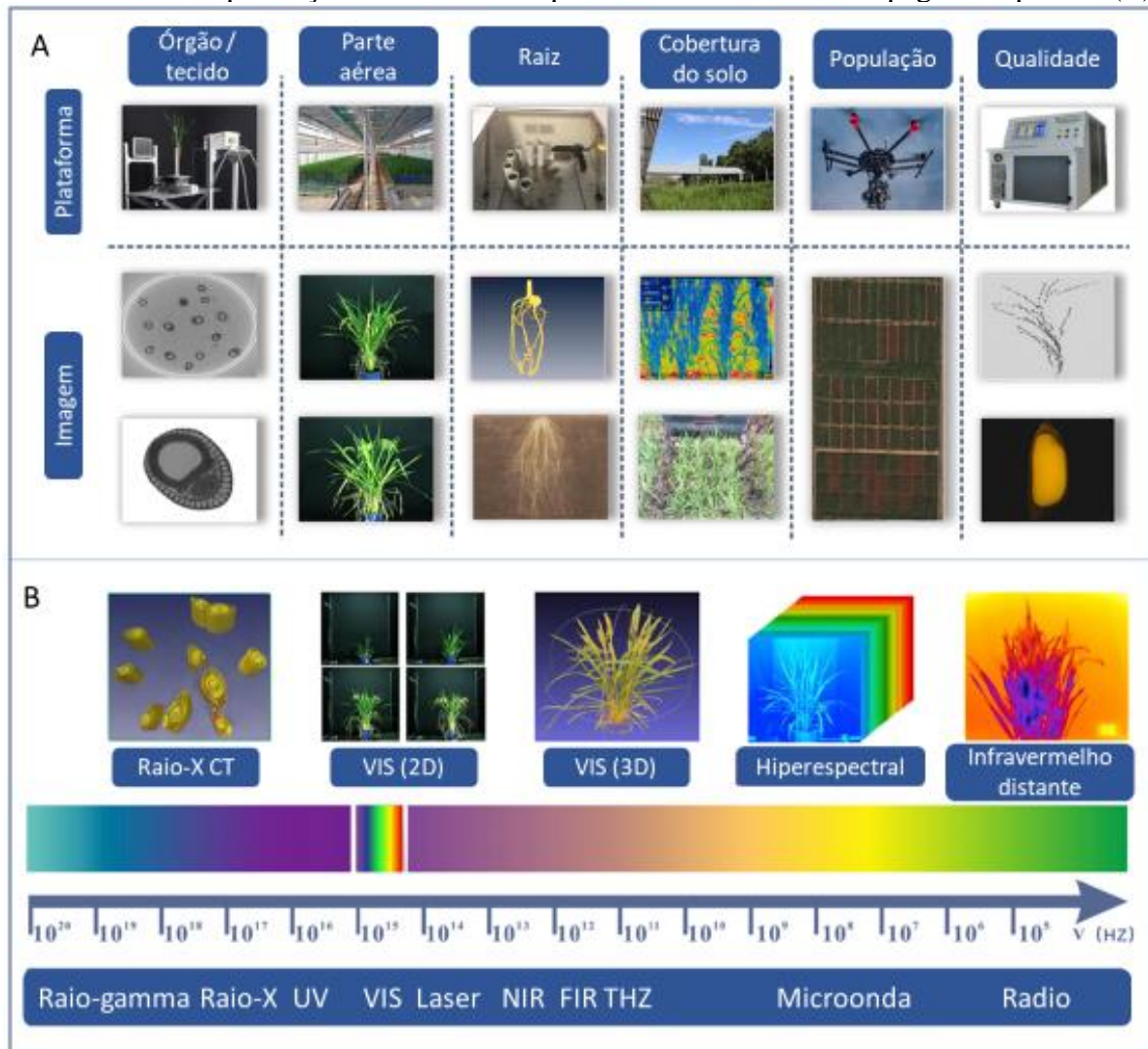
As leituras espectrais detectadas remotamente resultam em uma assinatura característica da luz refletida. A assinatura espectral típica do solo, de uma planta saudável e não saudável são exemplificados na Figura 3. Devido ao alto teor de água, as folhas saudáveis emitem radiação na faixa do infravermelho térmico ($\approx 10 \mu\text{m}$), de acordo com a temperatura. As folhas parecem verdes porque a faixa de luz verde (550 nm) é refletida de forma relativamente eficiente, quando comparada às faixas azul, amarela e vermelha, que são absorvidas por pigmentos fotoativos. (LI *et al.*, 2014).

Figura 3 – Reflectância típica do solo, de uma planta saudável e uma planta sob estresse.



Fonte: Burud *et al.* (2017).

Figura 4 – Visão esquemática das plataformas de fenotipagem de diferentes escalas (A) e exemplificação de diferentes espectros utilizados na fenotipagem de plantas (B).



Legenda: luz ultravioleta (UV), luz visível (VIS), infravermelho próximo (NIR), infravermelho distante (FIR), Raios-T (THZ). Fonte: Yang *et al.* (2020).

A imagem em diferentes comprimentos de onda é usada para diferentes aspectos da fenotipagem das plantas. As técnicas de imagem possuem diferentes objetivos e a sua escolha deve ser apropriada para o tipo de fenotipagem pretendida (Figura 4) (Yang *et al.*, 2020). A imagem de espectro visível ou RGB (do inglês *Red-Green-Blue*) é a mais usada para medir características morfológicas de plantas e órgãos, biomassa e crescimento da planta, mas não pode fornecer informações fisiológicas. A imagem hiperespectral pode fornecer informações espectrais abundantes (no visível e no infravermelho próximo) e espaciais simultaneamente, podendo ser útil para avaliação da severidade de doenças, da quantidade de água e outras características fisiológicas. Porém, o sensor hiperespectral é caro e o processamento dos dados

obtidos pode ser complicado. A imagem fluorescente é capaz de refletir sinais fisiológicos como os de funções fotossintéticas, mas não consegue fornecer informações espectrais suficientes. As imagens térmicas por infravermelho podem obter a temperatura da planta ou das folhas, mas é bastante afetada pelas condições ambientais. As técnicas de imagem em 3D são baseadas em digitalização a laser, possibilitando a caracterização espacial e volumétrica. Imagens de tomografia, como MRT (tomografia por ressonância magnética), PET (tomografia por emissão de pósitrons) e CT (tomografia computadorizada, baseada em raios-X), são técnicas exclusivas para ambientes controlados e possuem baixo rendimento na fenotipagem. Considerando que cada tecnologia de imagem possui méritos e limitações diferentes, a tendência é combinar essas técnicas para aplicação na fenotipagem de plantas (Yang *et al.*, 2020).

4.3. Sensoriamento remoto na agricultura

O sensoriamento remoto é a aquisição de informações sobre um objeto ou fenômeno à distância, que depende de um sensor montado em uma plataforma. O sensor é responsável por captar as imagens através da radiação eletromagnética que é refletida ou emitida pelo alvo (WEISS *et al.*, 2019). Na agricultura, as informações de interesse consistem em características dos sistemas agrícolas e como eles variam no espaço e no tempo. De acordo com Nock *et al.* (2016), essas características podem ser morfológicas, bioquímicas, fisiológicas, estruturais, fenológicas ou comportamentais, as quais influenciam o desempenho ou a aptidão do organismo.

Por ser uma ferramenta não destrutiva para monitorar espacial e temporalmente a vegetação, o sensoriamento remoto traz contribuições na agricultura. As principais aplicações são na fenotipagem, visando o desenvolvimento de novas cultivares, no monitoramento do uso do solo, na previsão da produção agrícola, na otimização da produção a curto prazo, na prestação de serviços ecossistêmicos relacionados ao solo e recursos hídricos bem como voltados à conservação da biodiversidade animal e vegetal (WEISS *et al.*, 2019).

4.4. Fenotipagem de alto rendimento no melhoramento de plantas

O melhoramento de plantas leva em consideração a variação do ambiente externo por meio de ensaios replicados em vários locais. Porém, a aplicação das tecnologias de fenotipagem adequadas, capazes de caracterizar com precisão e alto desempenho grandes populações de melhoramento, ainda são uma limitação (ARAUS; CAIRNS, 2014). A fenotipagem de campo

de alto rendimento permite caracterizar genótipos de uma determinada espécie, dentro de determinados requisitos ambientais e práticas agrícolas, monitorando milhares de parcelas compostas de genótipos semeadas ao longo de poucas linhas de semeadura (WEISS *et al.*, 2019).

Os VANTs fornecem uma plataforma flexível, que adquirem dados rapidamente em grandes áreas, com potencial de fornecer imagens de alta resolução espacial. Quando foram comparadas três abordagens de sensoriamento remoto (VANT, sensor proximal e imagens de satélites), considerando duas características fisiológicas (temperatura do dossel e índice de vegetação), o VANT apresentou melhor desempenho. Embora as imagens de satélite tenham a vantagem de cobrir áreas maiores, a resolução restringe sua aplicação de medições dos objetos-alvo, além disso, é difícil obter imagens de satélite em intervalos de tempo frequentes e as medições podem ser prejudicadas pelas condições climáticas, como a presença de nuvens. As medições com sensor proximal são trabalhosas e quando aplicadas a áreas maiores, podem estar suscetíveis a erros. Por isso, o uso VANTs, para a fenotipagem através do sensoriamento remoto no melhoramento de plantas, possui maior precisão e eficiência (TATTARIS *et al.*, 2016).

Há várias categorias de câmeras fotográficas, para avaliação da vegetação por sensoriamento remoto a campo, que podem ser transportadas por VANTs. Com as técnicas de imagem já citadas anteriormente, Araus e Cairns (2014) em sua revisão destacam os principais tipos de câmeras:

- As câmeras RGB/CIR combinam imagens em infravermelho colorido (CIR) e luz visível (RGB), o que permite estimar a biomassa verde (informações do tipo NDVI: Índice de Vegetação da Diferença Normalizada).
- As câmeras multiespectrais podem adquirir ao mesmo tempo bandas espectrais nas regiões VIS (visível) e NIR (infravermelho próximo) e são usadas para determinar índices de vegetação, em avaliação de biomassa verde, além de outros índices em faixas espectrais diferentes, que permitem avaliar senescência, estado de nutrição das plantas, degradação de pigmentos, eficiência fotossintética ou teor de água.
- Câmera hiperespectral visível e infravermelho próximo permite a obtenção de centenas de imagens de uma só vez, cobrindo todo o espectro eletromagnético, entre as regiões do visível e infravermelho próximo, em um modo contínuo.
- Câmeras de infravermelho de onda longa ou de imagem térmica processam radiação infravermelha, utilizadas para visualizar o estresse hídrico, doenças, avaliar o amadurecimento de frutas e a detecção de injúrias em frutas e hortaliças.

- Câmeras digitais convencionais (tipo NDVI) são instrumentos de baixo custo que permitem estimar a cobertura vegetal ou senescência das plantas; além disso, o software necessário geralmente está disponível gratuitamente.

Yang *et al.* (2020) ressaltam que, embora o sensoriamento remoto com VANTs tenha se mostrado uma ferramenta de grande potencial para a fenotipagem de alto rendimento, algumas restrições relacionadas ao seu uso devem ser abordadas: (1) o tempo de voo e a capacidade de carga são limitadas; (2) leis e regulamentos locais de voo podem ser uma restrição; (3) requisitos estritos para técnicos de operação devem ser implementados para garantir a segurança do voo; (4) uma baixa altitude de voo fornecerá imagens com maior qualidade, mas também poderá causar alterações na planta devido ao vento produzido pelo VANT, além de resultar em tempo de voo mais longo.

4.5. Caracterização fenotípica do milho

O milho apresenta enorme diversidade genética, oferecendo grandes oportunidades para o melhoramento genético. A compreensão dessa diversidade durante os diferentes estágios de desenvolvimento do milho, a partir da fenotipagem das características de interesse agrônômico, pode trazer novos avanços para o melhoramento da cultura.

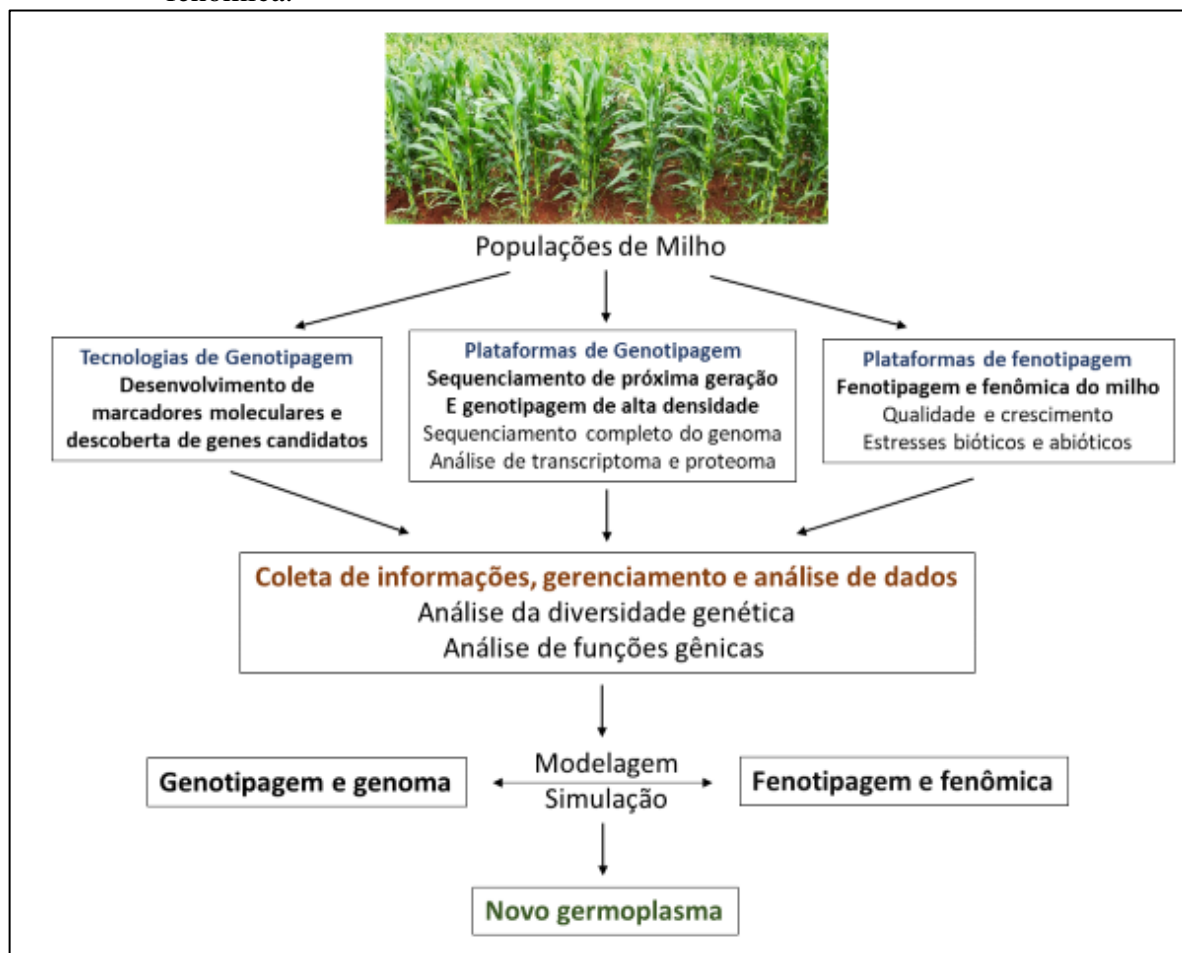
A altura de planta do milho é um fator atrelado à biomassa, à arquitetura da planta e ao rendimento de grãos, além de ser uma característica altamente herdável (SALAS FERNANDEZ *et al.*, 2009; PEIFFER *et al.*, 2014). As plantas de milho na maturidade são altas, fazendo com que a medição manual da estatura seja trabalhosa e demorada, suscetíveis a erros afetando a precisão dos dados. Num estudo para validar o uso de VANTs como plataforma de alto rendimento na coleta de dados de altura de planta em milho, alcançou-se uma correlação de 0,95 entre os dados obtidos pela plataforma e manualmente (WANG *et al.*, 2019). Em outro estudo que traz evidências da alta herdabilidade da característica, mostra também uma alta correlação entre medições de altura feitas pelo VANT e manuais (HAN *et al.*, 2018). Estes estudos evidenciam que os dados coletados por esta plataforma são confiáveis e demonstram grande potencial para o uso em estudos de altura de planta.

Os métodos atuais para estimar o crescimento da cultura são em sua maioria baseados em avaliação visual por estimativa e por isso são subjetivos, demorados e caros. Um estudo mostrou a viabilidade do uso de câmera RGB a bordo de um VANT de baixo custo para estimar a cobertura e senescência do dossel em ensaios de melhoramento de milho (MAKANZA *et al.*,

2018). O mesmo estudo considerou o método no auxílio da avaliação da característica *stay-green*, relacionado à senescência.

Considerando a importância da área foliar verde, devido a capacidade de interceptação da radiação e consequente fotossíntese, Blancon *et al.* (2017) propuseram um método de fenotipagem de alto rendimento para mensurar o índice de área foliar verde em milho a partir de um VANT. Os resultados alcançados foram precisos e mostrou redução no tempo de fenotipagem em 20 vezes, quando comparado com observações de fenotipagem baseadas em medições foliares realizadas diretamente sobre as plantas. O estudo ainda mostrou que o índice de área de folha verde tem elevada herdabilidade e pode ser usado para auxiliar na predição do rendimento de grãos, sob condições de disponibilidade hídrica adequada, evidenciando sua importância no melhoramento genético da cultura.

Figura 5 – As principais técnicas envolvidas nos futuros estudos genéticos do milho em conjunto com a genômica, transcriptômica, metabolômica, proteômica e fenômica.



Fonte: Zhang *et al.* (2015).

Compreender os fatores genéticos que contribuem para a formação da variância fenotípica é essencial para o melhoramento de uma determinada cultura. Contribuindo para que se atenda as demandas da crescente população humana, assim como a necessidade de se adaptar as espécies cultivadas às mudanças climáticas globais. Para que a fenotipagem atinja níveis de qualidade e velocidade comparáveis aos da genômica, devem ser realizadas cada vez mais pesquisas para desenvolver e validar plataformas de fenotipagem confiáveis, automáticas, multifuncionais e de alto desempenho. Futuros estudos genéticos de milho em conjunto com genômica, transcriptômica, metabolômica e proteômica, bem como fenômica e fenotipagem de alto rendimento e precisão ajudarão a melhor compreender os mecanismos que controlam as características agronômicas, levando a alcançar taxas mais elevadas de ganho genético para aumento da produtividade das culturas (Figura 5) (ZHANG *et al.*, 2015).

5. ATIVIDADES REALIZADAS

O programa de melhoramento genético de milho da Corteva Agriscience desenvolvido na estação de pesquisa de Passo Fundo, onde o estágio foi realizado, é responsável pelo desenvolvimento de linhagens endogâmicas superiores e de cultivares híbridas para uso em escala comercial. A etapa do programa de melhoramento de milho denominada *Nursery* é a responsável pela obtenção e caracterização das linhagens endogâmicas, sendo realizado dentro da estação de pesquisa. A etapa denominada *Yield* é responsável pelos ensaios de rendimento de grãos e caracterização de híbridos, em diferentes locais do sul do país. Durante o estágio foram desenvolvidas atividades em ambas etapas do programa de melhoramento, sendo a principal atividade vinculada ao *Yield*, como analista de imagens de sensoriamento remoto.

5.1 Atividades realizadas no *Nursery*

Dentro de um programa de melhoramento o correto armazenamento, identificação e organização das sementes é de extrema importância para que não haja perdas por contaminação ou mistura, que possam comprometer o andamento e a qualidade dos ensaios, além de garantir a viabilidade das sementes. Por esta razão, o banco de germoplasma da estação de pesquisa é armazenado em câmara fria. Atividades envolvendo a atualização do inventário de sementes como contagem, pesagem e descarte, além de envio de materiais para outras estações de pesquisa foram realizadas neste âmbito pela estagiária.

Nos ensaios que compõem o *Nursery*, o objetivo é desenvolver linhas endogâmicas superiores geradas a partir do cruzamento artificial de genótipos do mesmo grupo heterótico. É realizada a caracterização de gerações segregantes em processo de endogamia, de linhagens duplo-haploides e de linhagens parentais. A estagiária participou do preparo dos ensaios, antes do plantio, que consistia na separação das sementes dos genótipos, contagem de sementes em pacotes separados por parcela, tratamento das sementes com inseticida, organização espacial em caixas e constante checagem dos pacotes (Figura 6A). A semeadura dos ensaios também teve participação da estagiária, a qual foi feita por uma máquina de 4 linhas de semeadura, onde necessitava-se de uma pessoa operando cada cone de semeadura, para despejar as sementes dos devidos pacotes no momento correto, (Figura 6B).

Durante todo o desenvolvimento das plantas foram feitas avaliações e notas foram atribuídas às parcelas, onde foram observadas características de sanidade, morfológicas e reprodutivas. De maneira geral, o que foi observado nos estádios iniciais eram a qualidade da parcela quanto à germinação, vigor e uniformidade das plantas; em estádios mais avançados, o desenvolvimento da planta e resistências às doenças e herbicidas; nos estádios reprodutivos o foco das avaliações foram o pendão e a espiga, sempre considerando a integridade da planta; e, na colheita, a qualidade da semente e a produtividade do genótipo.

Figura 6 – Organização (A) e semeadura de ensaio (B).



Fonte: Autora (2019).

Após o cruzamento de genótipos de um mesmo grupo heterótico, o caminho para se chegar a novas linhagens endogâmicas é a autofecundação dos descendentes deste cruzamento por sucessivas gerações. A estagiária participou da polinização controlada do milho a fim de garantir a autofecundação. Ocorreu a proteção da espiga imatura com saco plástico, antes da externalização dos estigmas, para evitar contaminação com pólen de outras plantas (Figura 7A). O momento ideal para realizar a polinização artificial é quando os estigmas estão com tamanho

aproximado de 2 cm. Os pendões também foram protegidos com um pacote de papel para que não sejam contaminados com pólen indesejado (Figura 7B). O momento indicado para a proteção do pendão é quando 50% das anteras já estiverem abertas. Então, no dia seguinte, os pacotes foram batidos para a liberação do pólen e colocado sobre a espiga ao mesmo tempo em que a proteção do saco plástico é retirada, o pacote é fixado na espiga após a polinização e permanece até a colheita.

Figura 7 – Espiga imatura protegida (A) e momento em que o pendão é protegido (B) na planta de milho.



Fonte: Autora (2019).

5.2 Atividades realizadas no Yield

Os ensaios do *Yield* avaliam híbridos, em diferentes locais e anos, resultantes do cruzamento de genótipos de grupos heteróticos distintos. Compõem esses ensaios os híbridos resultantes de Cruzamentos Teste 1 e 2 (*Top Cross*), os híbridos em teste de Rendimento 1, 2 e 3 e o último ensaio dos híbridos pré-comerciais.

O ensaio *Top Cross* 1 avalia a capacidade geral de combinação, ou seja, mede o desempenho de uma linhagem quando cruzada com um genitor específico. Vários genótipos selecionados em gerações segregantes são submetidos a este cruzamento com uma linhagem testadora. O *Top Cross* 2 avalia a capacidade específica de combinação, ou seja, mede o desempenho médio de uma linhagem quando cruzada com outros genitores. Um genótipo

selecionado no *Top Cross* 1 por ter tido bom desempenho é submetido ao cruzamento com várias linhagens testadoras. Ambos os ensaios *Top Cross* são formados por parcelas de 2 linhas.

Os melhores híbridos, ou seja, os que obtiverem destaque em desempenho agrônômico no *Top Cross* 2 são avançados no programa de melhoramento e passam a compor os ensaios de Rendimento 1, onde novamente os melhores avançam para os ensaios de Rendimento 2 e da mesma maneira para os ensaios de Rendimento 3. Todos os ensaios de Rendimento são formados por parcelas de 4 linhas. Os híbridos com potencial de comercialização, selecionados no ensaio de Rendimento 3, são submetidos ao último ensaio pré-comercial formado por parcelas de 8 linhas, onde outros setores da empresa além da Pesquisa, como da Agronomia e do Comercial, também avaliam e determinam em conjunto quais serão os híbridos lançados para comercialização. Os ensaios *Top Cross* são realizados em locais mais próximos à Estação e os demais em vários locais do RS e SC.

Com o objetivo de otimizar a atribuição de características aos híbridos avaliados nos ensaios do *Yield*, a empresa adotou o uso de VANT (veículo aéreo não-tribulado) como plataforma de sensoriamento remoto. Essa nova metodologia permite que haja diminuição da mão-de-obra, conseqüente diminuição de custos, minimização de erros humanos e maior padronização dos dados obtidos. Desta maneira, é possível estabelecer critérios que auxiliarão na tomada de decisão quanto a supressão de dados de parcelas específicas e eventualmente, supressão de dados de áreas experimentais inteiras. São atributos mensurados pelo VANT: número de plantas por parcela, porcentagem de cobertura vegetal, tonalidade de verde do dossel e altura de planta.

5.2.1 Acompanhamento de voos do VANT

No estágio, pôde-se acompanhar, desempenhando papel de observador, voos do drone em diversas cidades onde os ensaios do *Yield* foram conduzidos, durante diferentes estádios de desenvolvimento da cultura do milho.

Os equipamentos essenciais para a realização dos voos foram: o VANT (modelo DJI Matrice 600 Pro) (Figura 8), câmera digital com sensor RGB, controle remoto, tablet Ipad, sistema de correção de geoposicionamento, cartões de memória para a câmera e para o RTK e baterias. Duas pessoas eram necessárias: o piloto e o observador. O piloto deveria obter as devidas autorizações prévias do DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) para que possa realizar o voo.

Ao chegar na área a ser voada, era necessário observar se as condições climáticas estavam adequadas: sem precipitações e rajadas de vento, inclinação solar entre 30° e 60° e nebulosidade adequada conforme o tipo de análise. Então, a montagem do equipamento pôde ser feita. Primeiramente o sistema de geoposicionamento deveria ser ligado, o drone era montado e ligado, assim como o controle e a câmera; se fosse necessário era realizada a calibragem do equipamento; o plano de voo e os parâmetros como altura e velocidade também eram conferidos. Para facilitar a análise futura das imagens, como referência para o analista, era colocado um círculo plástico plano de cor azul com aproximadamente 30 cm de diâmetro na extremidade da área, onde inicia o ensaio.

Figura 8 – Drone modelo DJI Matrice 600 Pro.



Fonte: DJI (2020).

O drone, após a decolagem, realizava automaticamente o plano de voo, percorrendo todo o ensaio, capturando imagens com sobreposição para que houvesse a cobertura completa da área. Durante o voo o observador deveria estar atento se as condições climáticas recomendadas se mantêm, se não havia outro veículo aéreo se aproximando ou qualquer outra situação que pudesse trazer algum risco a alguém e/ou ao equipamento. Após concluir o plano de voo, o drone retornava ao ponto de decolagem para aterrizar. Era realizado o pré-processamento dos dados georreferenciados, caso fosse identificado algum erro durante o processo, o voo era repetido.

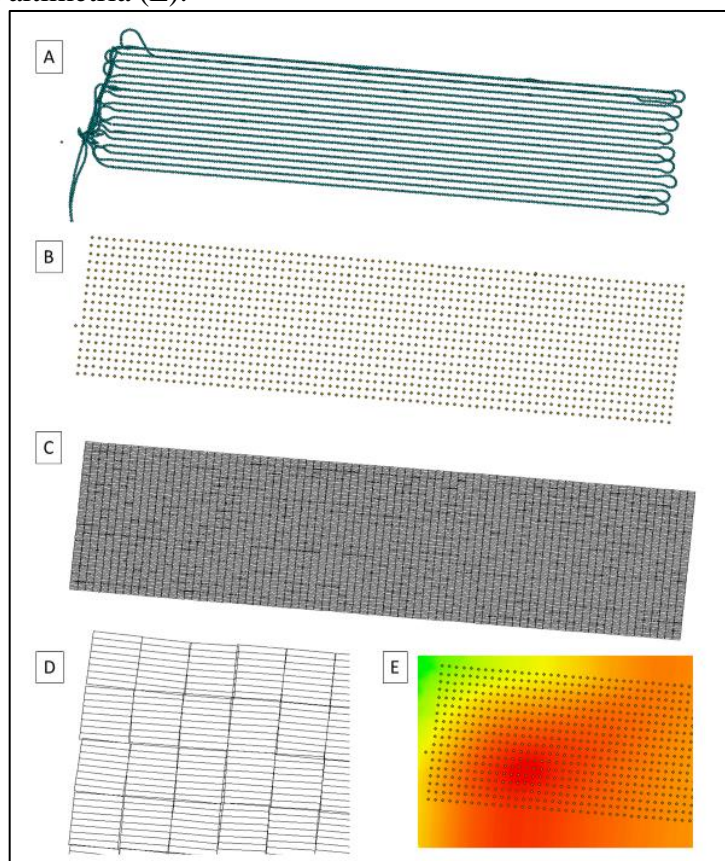
Em cada área de condução de ensaios foram feitos 3 voos em estádios de desenvolvimento diferentes. O primeiro voo, para contagem de plantas, análise chamada de *Plot Quality*, era realizado quando a maioria das plantas então em estádio V3. O segundo voo era chamado de *Plot Score* durante o estádio V7-V8 e quantificava a cobertura vegetal das parcelas e a tonalidade de verde das plantas. O terceiro voo, *Plant Height*, mensurava a altura

média das plantas da parcela, era realizado antes do início da senescência quando a altura da planta é máxima.

5.2.2 Processamento e análise de imagens de sensoriamento remoto

Durante a semeadura de cada área de ensaio do *Yield*, dados georreferenciados foram criados a partir do Sistema de Navegação Global por Satélite (*Global Navigation Satellite System* - GNSS) da própria semeadora de 8 linhas, contendo o caminho da máquina (Figura 9A) e a localização de cada ponto de batida (Figura 9B), ou seja, o ponto que começa a semeadura de um grupo de 8 linhas de semeadura, que corresponde a 4 parcelas de 2 linhas nos ensaios *Top Cross*, 2 parcelas de 4 linhas nos ensaios de Rendimento ou 1 parcela de 8 linhas nos ensaios *Impact*. Essas informações, chamados de dados do trator, foram importados para a plataforma de processamento de dados para gerar o *shapefile* (Figura 9C e 9D), que é uma malha vetorial georreferenciada que delimita as linhas das parcelas que compõem o ensaio, e o plano altimétrico de cada área (Figura 9E).

Figura 9 - Caminho da semeadora (A), pontos de batida (B), *shapefile* (C), detalhe do *shapefile* (D) e a altimetria (E).



Fonte: Autora (2019).

A principal atividade desempenhada durante o estágio foi como analista de imagens, onde ao final de cada voo foi realizado o processamento dos dados e análise das imagens em uma estação de processamento de dados (*workstation*). Seleccionava-se na plataforma de processamento o tipo de análise desejada (*Plot Quality*, *Plot Score* ou *Plant Height*). O processamento seguia 5 etapas: (1) *Align*, onde havia o alinhamento da imagem e o processamento dos dados georreferenciados; (2) *Create Ortho*, criação ortomosaica a partir das imagens; (3) *Auto-Attribution*, ajuste automatizado de *shapfile* e a criação da camada periférica; (4) *Clipping*, onde a imagem era cortada nos limites das parcelas conforme o *shapfile*; e (5) *Feature Extraction*, onde havia a geração de dados obtidos no processamento.

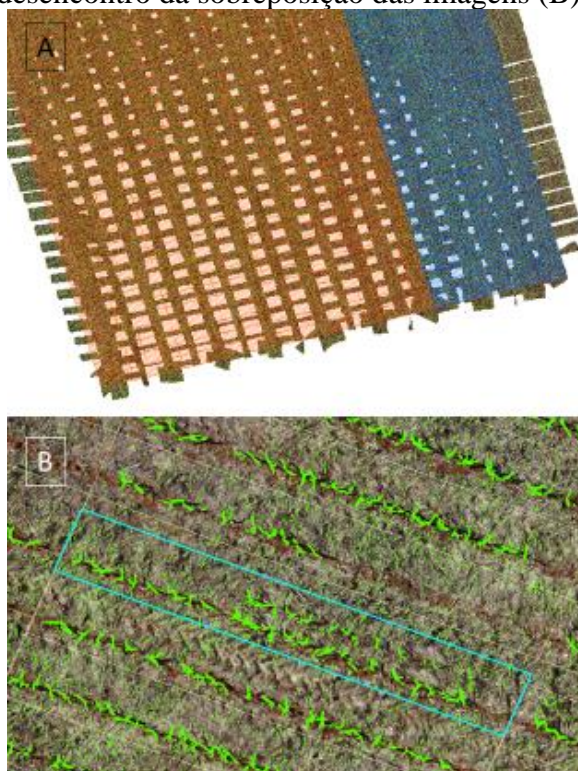
Figura 10 – *Shapefile* sobre a imagem ortomosaica com a presença do círculo azul na primeira parcela do ensaio.



Fonte: Autora (2019).

Durante as etapas do processamento erros eram comuns, principalmente em relação à localização precisa do *shapfile*, malha que delimita as parcelas do ensaio, a qual deveria enquadrar as plantas da parcela que pertence (Figura 10). Para solucioná-los era necessário conferir no ArqGIS (software para visualizar e editar dados espaciais em duas dimensões) se o *shapefile* estava no local correto e se necessário ajustá-lo, identificando na imagem a presença do círculo plano azul de referência, que foi localizada na primeira parcela do ensaio (Figura 10). Também no ArqGIS era possível visualizar algum eventual erro ocorrido durante a captura das imagens, afetando a sobreposição das imagens que formam o ortomosaico, podendo ter sido causada por altura de voo inadequada (Figura 11A) ou turbulência por rajada de vento (Figura 11B). Quando esses erros não podiam ser corrigidos o voo deveria ser refeito.

Figura 11 – Exemplos de ortomosaico com falha causada por falta de sobreposição das imagens (A), e por desencontro da sobreposição das imagens (B).

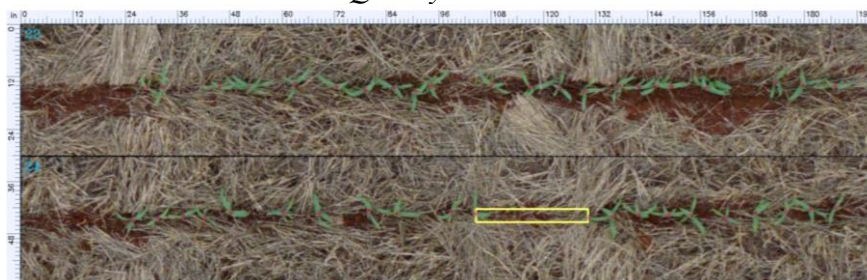


Fonte: Autora (2019).

Plot Quality

Este tipo de processamento gerava uma variável referente ao número de plantas por parcela, PLTNUM. O software identificava os pixels verde e a partir do padrão da forma e da quantidade destes pixels reconhecia uma planta de milho em estágio V3 e fazia a contagem dentro da parcela. Ainda, o software era capaz de reconhecer plantas daninhas, *gaps* (espaços sem plantas) e se as plantas estavam muito grandes ou muito pequenas para a análise, o que poderia deixar a contagem pelo software menos precisa. Em uma plataforma para visualização dos dados junto com a imagem correspondente (Figura 12), o analista conferia se os dados eram adequados e então fazia a publicação destes na rede de computadores da empresa. Parcelas com número baixo de plantas e com *gaps* grandes eram suprimidas de análises futuras.

Figura 12 – Parcela em análise de *Plot Quality*.

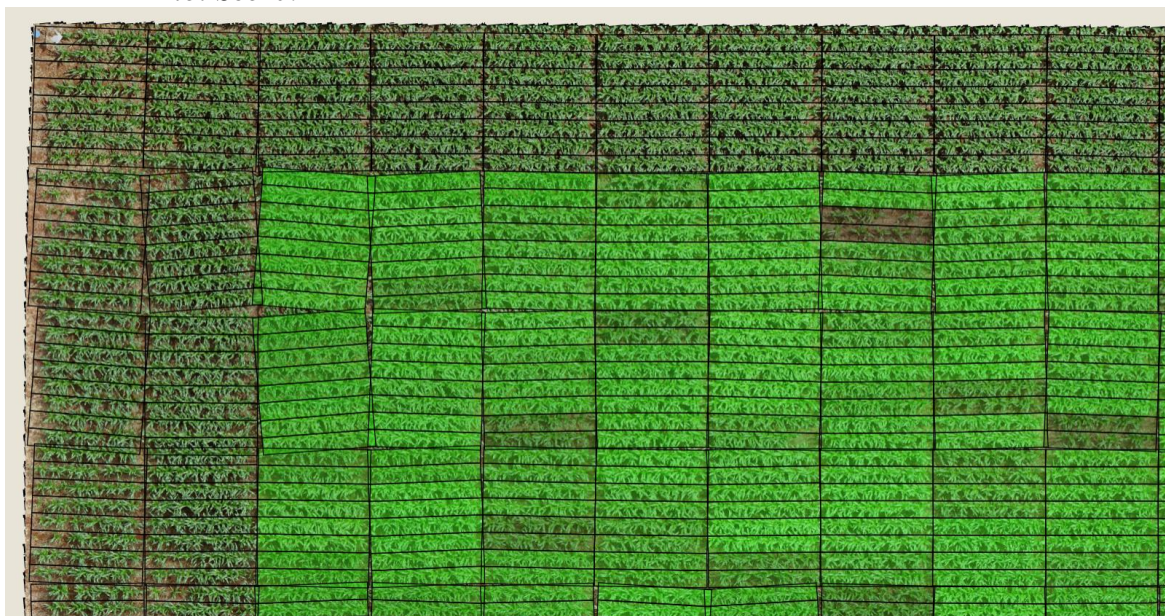


Fonte: Autora (2019).

Plot Score

A análise do *Plot Score* tinha por finalidade identificar parcelas com falhas na cobertura vegetal decorrentes de uma população baixa de plantas, que podia ter sido causada pela morte de plantas, danos por animais ou baixa fertilidade, além de identificar parcelas com plantas de tonalidade verde fraca, caracterizada por falha na fertilização. A obtenção dessa variável era realizada nos estádios V7-V8 da cultura, os pixels verdes eram identificados gerando dois tipos de variáveis: o PLSCVR_RS que trazia a porcentagem de cobertura verde dentro da parcela e o PLSGRN_RS que trazia em valor numérico a tonalidade do verde da parte aérea, onde os valores mais altos referiam-se à cor verde mais escura. Após a publicação dos dados e das imagens, em uma plataforma específica de visualização das áreas de ensaio ou no ArqGIS, era realizado o caminhamento virtual (Figura 13), que consistia na análise de cada parcela aliando os dados gerados com o que era visualizado na imagem, a fim de suprimir as parcelas com essas características inadequadas.

Figura 13 – Visualização da plataforma utilizada para o caminhamento virtual na análise de *Plot Score*.



Fonte: Autora (2019).

Durante o caminhamento virtual eram identificadas as parcelas cujas plantas foram amassadas pelo rodado do pivô de irrigação (Figura 14). A elas eram atribuídas um valor de *gap* referente ao comprimento afetado pelo amassamento das plantas na parcela. Esse valor era usado, após a colheita, num cálculo de compensação de produtividade.

Figura 14 – Área de ensaio com rastro dos rodados de pivô central de irrigação.



Fonte: Autora (2020).

Plant Hight

Nesta análise, a altura média das plantas da parcela era mensurada, gerando a variável PLTHT_RS. Era necessário que houvesse a medição manual prévia ao processamento de 40 parcelas, ou 20% do ensaio, para que fosse usado como referência. Ao final do processamento, parâmetros comparando os dados manuais com os obtidos pelo sensoriamento remoto eram gerados e, se fossem aceitáveis, os dados eram publicados.

5.2.3 Avaliações de ensaios

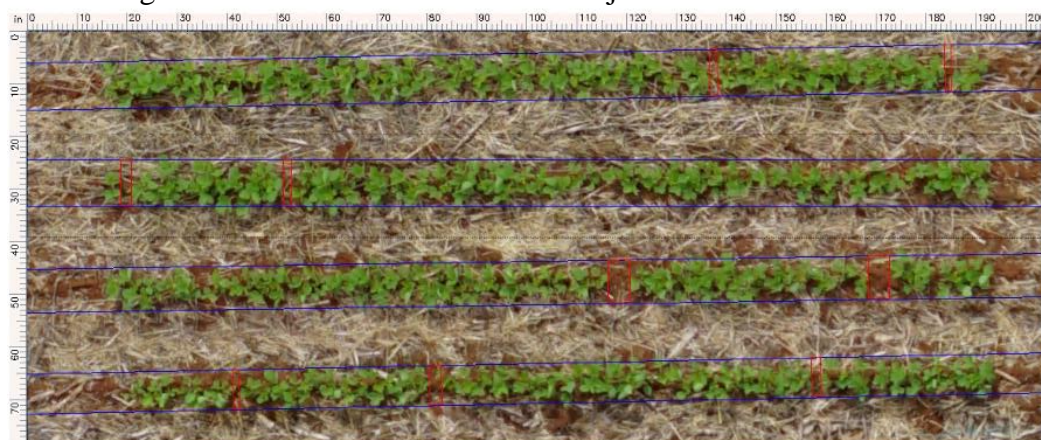
Durante o desenvolvimento da cultura, os ensaios eram avaliados pelos pesquisadores. As avaliações realizadas, acompanhadas pela estagiária, continham uma nota geral para cada híbrido e comentários para características que se destacavam na parcela quanto a sanidade, uniformidade, características da espiga e grãos, da morfologia da planta, quebramento ou tombamento de plantas, senescência, etc.

Além das avaliações realizadas pela Pesquisa, durante o estágio pôde-se acompanhar também avaliações realizadas pelo segmento da Agronomia da empresa nos ensaios *Impact*. Essas eram avaliações mais meticulosas, como contagem de plantas mortas, quebradas, tombadas, doença em espiga, etc. Informações que eram importantes para a melhor caracterização agrônômica dos híbridos pré-comerciais.

5.2.4 Atividades na cultura da soja

O período de estágio concomitou com o primeiro ano em que a estação de pesquisa de Passo Fundo se tornou *multi cropping*, termo utilizado na empresa para designar as estações onde eram conduzidos ensaios de mais de uma cultura. No caso, além de milho, também passaram a ser realizados ensaios com soja. Desta maneira, pôde-se acompanhar voos de VANT realizados em ensaios de soja, além de realizar parcialmente, devido a data de término do estágio, o processamento das imagens (Figura 15).

Figura 15 – Imagem de sensoriamento remoto em soja.



Fonte: Autora (2020).

6. DISCUSSÃO

É evidente que o uso das novas tecnologias de fenotipagem trazem benefícios para um programa de melhoramento. A Corteva, se tratando de uma empresa, busca diminuição de custos, o que permite uma maior margem de lucro, além de garantir mais recursos financeiros para inovações. O sensoriamento remoto torna possível a diminuição de custos com a substituição de mão-de-obra, além da maior agilidade na obtenção, maior qualidade e padronização dos dados obtidos, que resultam no desenvolvimento de melhores híbridos, trazendo maiores lucros.

Na safra 2018/19 foram realizados testes de avaliação da tecnologia de fenotipagem por sensoriamento remoto por VANT. Esses testes permitiram que na safra 2019/20, período de realização do estágio, fosse implementado, na totalidade dos ensaios de milho do *Yield*, o sensoriamento remoto com drone para obtenção dos dados de *plot quality*, *plot score* e altura de planta.

A característica mais notável observada no sensoriamento remoto foi a padronização dos dados, porém eles não são imunes a erros. O clima inapropriado para realização do voo pode gerar atrasos na avaliação de determinado grupo de ensaios, que pode acarretar em perda do estágio da planta correto para obtenção do dado. Por exemplo, no voo para obtenção da variável *plot score* o estágio correto é V7-V8, quando atrasa o momento de voo o estágio está mais avançado, portanto as plantas cresceram mais e tem maior área verde que no estágio correto de avaliação, comprometendo a comparação dos dados obtidos aos de outros ensaios, avaliados no momento correto.

Como o processo durante o voo, para a captura de imagens é bem detalhista, envolvendo várias etapas, podem ocorrer erros de operação ou do próprio sistema, mas somente no final de toda a operação, no pré-processamento dos dados, é que a falha é identificada e o voo deve ser repetido. No entanto, muitas vezes, as condições climáticas ou a angulação solar já não permitem que o voo seja refeito no mesmo dia, causando atrasos. Outros erros somente são detectados no processamento das imagens no terminal de computador (*workstation*) da estação de pesquisa, podendo gerar mais de um dia de atraso.

Outras dificuldades enfrentadas, que também atrasam os voos, foram as interferências causadas por torres de rede elétrica e rádio, as quais comprometiam a captação dos sinais de satélites. Em função disso, as áreas selecionadas para realização dos ensaios futuros estão considerando a presença destas torres.

Diferenças muito grandes entre as cotas topográficas também causaram alguns contratempos. A altura que o drone voa é fixa a partir da cota do ponto de decolagem, quando esse ponto é na parte mais baixa da área, a sobreposição das imagens capturadas é insuficiente, gerando falhas na imagem ortomosaica do ensaio (Figura 11A), sendo necessário a repetição do voo em ponto de cota média. Esse fator também influenciou os dados de altura de planta obtidos. Desta maneira, áreas mais planas serão priorizadas pela empresa na escolha da localização dos próximos ensaios.

Os algoritmos utilizados pela empresa são desenvolvidos nos EUA e validados para as condições das áreas de condução de ensaios a campo no Brasil. Nos EUA, além de áreas muito mais planas do que as encontradas no sul do Brasil, o sistema de plantio também é diferente. No Brasil a semeadura dos ensaios é realizada sobre a palha de aveia ou trigo, enquanto nos EUA o solo é descoberto, o contraste da planta com o fundo (solo ou palha) mudam, podendo causar o confundimento do software que identifica e conta as plantas de milho. Entretanto, essa questão, já resolvida pela empresa, evidencia a importância dos algoritmos serem adaptados aos locais onde serão aplicados.

A irrigação através de pivô central, muito importante para a qualidade dos ensaios, no desenvolvimento de novas cultivares híbridos, traz alguns entraves. Os rodados do pivô danificam as plantas por onde passam (Figura 14), deixando um rastro na lavoura. Para que as parcelas do ensaio, por onde passa o rodado do pivô central, não sejam suprimidas é feito um cálculo de compensação de produtividade. No entanto, com o sensoriamento remoto e as ferramentas de geolocalização, é possível saber exatamente onde o rodado do pivô irá passar. Desta forma, ao organizar o ensaio, nessas áreas seriam semeadas parcelas de “enchimento”, chamadas de “*buffer*” pela empresa, com sementes de híbridos comerciais, sem finalidade de avaliação. Essa metodologia ainda não foi executada, mas é a intenção para as próximas safras.

O imageamento da área também auxilia na visualização geral do ensaio, sendo uma ferramenta importante que auxilia na tomada de decisão. A tecnologia também torna possível a identificação, sem precisar entrar na lavoura, de manchas de fertilidade do solo, danos causados por animais, danos por ventos fortes, monitoramento de doenças e pragas, etc. Os desafios são vários, mas há muitas possibilidades de soluções trazidas pelo uso de VANTs e pelo sensoriamento remoto, sendo que no estágio realizado foi possível acompanhar algumas que já estão sendo aplicadas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A última década foi caracterizada por um aumento acentuado no desenvolvimento de tecnologias do sensoriamento remoto, como lançamento de novos satélites, democratização do VANT, no processamento e armazenamento de dados, além do desenvolvimento de novos algoritmos. Com essa evolução, as novas tecnologias se tornam acessíveis para a maioria dos usuários, tornando a exploração do sensoriamento remoto confiável e lucrativa.

Com o surgimento da fenômica, junto ao seu grande potencial de aplicação no melhoramento de plantas, o desenvolvimento de sensores que possam fornecer informações espectrais e direcionais mais ricas, compatíveis também com as aplicações agrícolas, está em andamento. Embora o domínio óptico já seja consideravelmente explorado, ainda há lacunas e potencial de explorar mais esse recurso para aplicação na agricultura, além do próprio melhoramento genético.

Estamos na era dos “megadados” (*Big Data*), onde a grande quantidade e acessibilidade de dados de sensoriamento remoto, tanto em escala global, regional, como em escala de folha da planta, permite o aprofundamento do conhecimento fenotípico das culturas. Para isso, métodos e técnicas baseados em inteligência artificial devem ser introduzidos na análise,

permitindo também a integração das informações sobre genótipo, fenótipo e ambiente. A busca pelas novas soluções como a análise inteligente na “prospecção de dados” (*Data Mining*), obtidos em abundância pela fenômica e pela genômica, pode ajudar a desvendar os processos biológicos que regem o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Reunir, integrar e fazer inferências sobre estes dados ajudará os programas de melhoramento a acelerar o desenvolvimento de cultivares mais produtivas e mais tolerantes aos estresses.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, Dez. 2013. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507. Disponível em: <https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078>. Acesso em: 17 fev. 2020.

ARAUS, J. L. & CAIRNS, J. E. Field high-throughput phenotyping: the new crop breeding frontier. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 19, n. 1, p. 52-61, Jan. 2014. DOI: 10.1016/j.tplants.2013.09.008. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385\(13\)00199-4](https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385(13)00199-4). Acesso em: 11 fev. 2020.

BLANCON, J. *et al.* A high-throughput model-assisted method for phenotyping maize green leaf area index dynamics using unmanned aerial vehicle imagery. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 10, art. 685, Jun. 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.00685. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00685/full>. Acesso em: 24 fev. 2020.

BURUD, I. *et al.* Exploring robots and UAVs as phenotyping tools in plant breeding. **IFAC – PapersOnLine**, Madri, v. 50, n 1, p. 11479-11484. Jul. 2017. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.1591. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317321882>. Acesso em: 11 fev. 2020.

CORTEVA. **Our history**. Disponível em: <https://www.corteva.com/who-we-are/our-history.html>. Acesso em: 15 mar. 2020.

CIDADE-BRASIL. **Mesorregião do Noroeste Rio-Grandense**. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/mesorregiao-do-noroeste-rio-grandense.html>. Acesso em: 12 mar. 2020.

CIDADE-BRASIL. **Mesorregião do Oeste Catarinense**. Disponível em: <https://www.cidade-brasil.com.br/mesorregiao-do-oeste-catarinense.html>. Acesso em: 12 mar. 2020.

DJI. **Matrice 600 pro**. Disponível em: <https://www.dji.com/br/matrice600-pro?site=brandsite&from=nav>. Acesso em: 16 mar. 2020.

HAN, L. *et al.* Clustering field-based maize phenotyping of plant-height growth and canopy spectral dynamics using a UAV remote-sensing approach. **Frontiers in Plant Science**, LAUSANNE, v. 9, art. 1638, Nov. 2018. DOI: 10.3389/fpls.2018.01638. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.01638/full>. Acesso em: 27 fev. 2020.

HOULE, D. *et al.* Phenomics: the next challenge. **Nature Reviews Genetics**, Londres, v. 11, p. 855-866, Dez. 2010. DOI: 10.1038/nrg2897. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nrg2897>. Acesso em: 11 mar. 2020.

IBGE. **Indicadores.** [2018]. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturas-temporarias-e-permanentes.html?t=resultados>. Acesso em: 12 mar. 2020.

IPEAGEO. **Malhas: Rio Grande do Sul e Santa Catarina.** Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ipeageo/malhas.html>. Acesso em: 14 mar. 2020.

LI, L. *et al.* A Review of imaging techniques for plant phenotyping. **Sensors**, Basiléia, v. 14, n. 11, p. 20078-20111. Out 2014. DOI: 10.3390/s141120078. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/14/11/20078>. Acesso em: 27 mar. 2020.

LOBOS, G. A. *et al.* Editorial: Plant phenotyping and phenomics for plant breeding. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 8, art. 2181, Dez 2017. DOI: 10.3389/fpls.2017.02181. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.02181/full>. Acesso em: 12 mar. 2020.

MAKANZA, R. *et al.* High-throughput phenotyping of canopy cover and senescence in maize field trials using aerial digital canopy imaging. **Remote Sensing**, Basiléia, v. 10, n. 330, Fev. 2018. DOI: 10.3390/rs10020330. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/2/330>. Acesso em: 26 fev. 2020.

NOCK, C. A. *et al.* Functional traits. **eLS. John Wiley & Sons, Ltda.**, Chichester, Feb. 2016. DOI: 10.1002/9780470015902.a0026282. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9780470015902.a0026282>. Acesso: 14 mar. 2020.

PEIFFER, J. A. *et al.* The genetic architecture of maize height. **Genetics**, Raleigh, v. 196, p. 1337-1356, Abr. 2014. DOI: 10.1534/genetics.113.159152. Disponível em: <https://www.genetics.org/content/early/2014/02/06/genetics.113.159152?versioned=true>. Acesso em: 28 fev. 2020.

RAY, K. D. *et al.* Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. **PLoS ONE**, San Francisco, v. 8(6): e66428, Jun. 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0066428. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0066428>. Acesso em: 10 fev. 2020.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2ª ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p. ISBN: 85-85864-19-2.

SALAS FERNANDEZ, M. G. *et al.* From dwarves to giants? Plant height manipulation for biomass yield. **Trends in Plant Science**, Cambridge, v. 14, n.8, p. 454-461, Jul. 2009. DOI: 10.1016/j.tplants.2009.06.005. Disponível em: [https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385\(09\)00166-6](https://www.cell.com/trends/plant-science/fulltext/S1360-1385(09)00166-6). Acesso em: 14 fev. 2020.

TATTARIS, M. *et al.* A direct comparison of remote sensing approaches for high-throughput phenotyping in plant breeding. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 7, art. 1131, Ago. 2016. DOI: 10.3389/fpls.2016.01131. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01131/full>. Acesso em: 12 fev. 2020.

TILMAN, D. *et al.* Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the U.S.A.**, Washington, v. 108, n. 50, Dez 2011, p. 20260-20264. DOI: 10.1073/pnas.1116437108. Disponível em: <https://www.pnas.org/content/108/50/20260>. Acesso em: 10 fev. 2020.

WANG, X. *et al.* Dynamic plant height QTL revealed in maize through remote sensing phenotyping using a high-throughput unmanned aerial vehicle (UAV). **Scientific Reports**, London, v. 9, n. 3458, Mar. 2019. DOI: 10.1038/s41598-019-39448-z. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-39448-z>. Acesso em: 28 fev. 2020.

WEISS, M. *et al.* Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdã, v. 236, Nov. 2019. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111402. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425719304213>. Acesso em: 26 fev. 2020.

YANG, W. *et al.* Crop phenomics and high-throughput phenotyping: Past decades, current challenges, and future perspectives. **Molecular Plant**, Shanghai, v. 13, p. 187-214, Feb. 2020. DOI: 10.1016/j.molp.2020.01.008. Disponível em: [https://www.cell.com/molecular-plant/fulltext/S1674-2052\(20\)30008-3](https://www.cell.com/molecular-plant/fulltext/S1674-2052(20)30008-3). Acesso em: 13 mar. 2020.

ZHANG, Y. *et al.* Review on characterization of maize phenotyping diversity: from genome and genotyping to phenomics and high-throughput phenotyping. **Research on Crops**, Hisar, v. 16, n. 2, p. 351-364, Abr. 2015. DOI: 10.5958/2348-7542.2015.00051.0. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/281692751>. Acesso em: 15 mar. 2020.

ZHAO, C. *et al.* Crop phenomics: Current status and perspectives. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 10, art. 714, Jun. 2019. DOI: 10.3389/fpls.2019.00714. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2019.00714/full>. Acesso em: 11 mar. 2020.