

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

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Giovanna Gelak Spinelli

00274439

Consultoria em agricultura de precisão no estado do Paraná

Porto Alegre, setembro de 2021.

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

*Consultoria em agricultura de precisão no estado do Paraná*

Giovanna Gelak Spinelli

00274439

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

Supervisor de estágio: Eng. Agr. Felipe Fernandes Lira

Orientador acadêmico: Prof. Dr. Christian Bredemeier

**COMISSÃO DE AVALIAÇÃO**

Prof.(a) Alberto Inda Junior - Depto. de Solos

Prof.(a) Aldo Merotto Junior - Depto. de Plantas da Lavoura

Prof.(a) André Brunes – Depto. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

Prof.(a) José Antônio Martinelli – Depto. de Fitossanidade

Prof.(a) Lúcia Brandão Franke – Depto. de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia

Prof.(a) Maitê de Moraes Vieira – Depto. de Zootecnia

Prof.(a) Pedro Selbach – Depto. de Solos

Prof.(a) Sérgio Tomasini – Depto. de Horticultura e Silvicultura (Coordenador)

Porto Alegre, setembro de 2021

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha mãe Andrea que, desde o início, esteve comigo me incentivando e me apoiando a seguir esta caminhada. Ao meu pai Tomaz, agradeço pela confiança depositada em mim. Além disso, os agradeço pela educação e pelos valores que me foram passados. Agradeço à minha irmã Giulianah, pelo companheirismo e momentos de alegria, tornando essa caminhada mais leve. Também a toda minha família que, de alguma forma, contribuiu para a minha formação, em especial às minhas avós Maria Tereza e Angelina e ao meu avô Alberto, o qual despertou em mim o interesse pela Agronomia.

Agradeço a todos os colegas de curso, em especial às colegas Laura Faneze, Pâmela Scolaro e Sofia Teichmann, pela amizade que construímos ao longo desses anos. Aos professores da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, meu muito obrigada pelos ensinamentos. Ao orientador Christian Bredemeier, agradeço pela confiança, dedicação e orientação para construção deste trabalho.

Ao Instituto Rio Grandense do Arroz, agradeço o aprendizado ao longo do período de Iniciação Científica. À Mestre Glaciele Barbosa Valente, obrigada pelo carinho, incentivo e apoio prestado a mim ao longo da graduação.

À Empresa AM Agricultura de Precisão, agradeço a oportunidade oferecida e os ensinamentos obtidos. Agradeço a todos os profissionais que me receberam, ao supervisor de estágio Felipe Fernandes Lira e ao João Vitor Gonçalves, por me acompanharem e me instruírem na realização das atividades.

## RESUMO

A agricultura de precisão surgiu no Brasil no final da década de 1990 e vem apresentando grande avanço com o estabelecimento de mercado e a obtenção de resultados que comprovam o seu potencial. A necessidade de aumento de produtividade e questões relacionadas à sustentabilidade do sistema de produção impulsionam a utilização da agricultura de precisão. Tendo em vista esse grande avanço, o presente relatório se refere ao estágio curricular obrigatório, realizado na empresa AM Agricultura de Precisão, em Londrina (PR). A realização do estágio curricular teve como objetivo aprofundar o conhecimento na área de tecnologia na agricultura e consolidar o conteúdo abordado durante a graduação. As principais atividades realizadas foram alicerçadas em algumas das ferramentas utilizadas na agricultura de precisão, como aprendizado em softwares relacionados e acompanhamento de vôos de drone e de amostragens georreferenciadas a campo. A Agricultura de Precisão possui diversas ferramentas viáveis às propriedades agrícolas e traz diversos benefícios para o sistema de produção. Porém, para o sucesso das técnicas, é essencial o acompanhamento de profissionais qualificados, destacando a importância da assistência técnica para aliar a tecnologia aos conhecimentos e manejos básicos da agricultura para que seja alcançado o resultado visado.

Palavras-chave: agricultura de precisão, amostragem de solo georreferenciada, zonas de manejo.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do estado do Paraná e Londrina (PR) no Brasil. .... 9
- Figura 2.** Esquema comparativo dos tipos de amostragem e o mapa resultante. .... 17
- Figura 3.** Capturas de tela durante a confecção das delimitações dos talhões de uma propriedade localizada em São Jerônimo da Serra (PR) (A) e as áreas exportadas para o programa InCeres (B) para cadastro de nova propriedade. .... 22
- Figura 4.** Capturas de tela do programa InCeres durante a confecção de mapas de amostragem, comparando-se a utilização de *grid* otimizado (A) e *grid* regular (B) em um mesmo talhão de uma fazenda localizada no município de São Jerônimo da Serra (PR) ..... 23
- Figura 5.** Captura de tela do programa InCeres durante a realização de um mapa de amostragem para uma propriedade localizada em Jaguapitã (PR), que utiliza as zonas de manejo. .... 24
- Figura 6.** Capturas de tela do *e-book* confeccionado para uma fazenda localizada em Rebouças (PR), apresentando a variabilidade do pH e a recomendação de calcário dolomítico para o talhão “Roveda”. Junto aos mapas, consta a legenda com os intervalos de valores representados por cada cor e a quantidade de área em cada cor (em porcentagem de área total e em hectares). .... 25
- Figura 7.** Ortomosaico formado a partir das imagens obtidas com o drone Arator 5B, no voo acompanhado no dia 26 de março de 2021. As imagens foram processadas no programa AgisoftMetashape. .... 26
- Figura 8.** Mapas confeccionados durante as práticas dos cursos realizados. Mapa de altimetria (A) e declividade (B) da fazenda Lageado, localizada em São Paulo (SP); NDVI do Talhão 1 da Fazenda Lageado (C); Modelo Digital de Elevação do Terreno do município de Londrina (PR) (D). .... 27

<b>Figura 9.</b> Mapas de fertilidade e de prescrição de calagem para uma mesma área, gerados com diversas densidades de amostragem. ....	30
<b>Figura 10.</b> Comparativo de produtividade, custos e lucro obtidos pela fazenda nas safras de 2019/2020 e 2020/2021.....	36
<b>Figura 11.</b> Comparativo do valor de pH entre 2020 e 2021.....	37

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	8
<b>2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ</b> .....	8
<b>3 CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO CONCEDENTE</b> .....	11
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	12
4.1 Agricultura de precisão (AP) .....	12
4.2 Histórico da agricultura de precisão .....	14
4.3 Ferramentas .....	16
4.4 Cenário brasileiro .....	19
<b>5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS</b> .....	20
5.1 Acompanhamento de atividades a campo .....	21
5.2 Uso de programas computacionais relacionados à agricultura de precisão .....	21
5.3 Outras atividades .....	28
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	28
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	37
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	38
<b>ANEXOS</b> .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

O setor agropecuário possui grande importância para o estado do Paraná, pois este se destaca como um dos maiores produtores nacionais de grãos (MENEGUETTE, 2015). Neste contexto, o município de Londrina (PR) também tem grande contribuição para a economia do país e do estado, sendo o setor agropecuário fundamental para o município, o qual sedia diversas empresas e cooperativas do ramo agrícola (MARCORI, 2008).

Concomitantemente com o aumento da demanda por produtos provenientes da agricultura, como alimentos e energia, os recursos naturais são cada vez mais escassos, resultando na necessidade de otimização da produção e aumento na eficiência no uso de insumos, considerando também aspectos relacionados à sustentabilidade e à segurança alimentar (MOLIN *et al.*, 2015). Neste contexto, se insere a agricultura de precisão (AP), que pode ser definida como um conjunto de ferramentas e tecnologias que possibilitam o gerenciamento da produção fundamentado na ocorrência de variabilidade espacial e temporal de atributos de solo e planta, ambiente de produção e relevo que ocorrem em uma determinada área agrícola (SENAR, 2019; BERNARDI *et al.*, 2015). Assim, a AP possibilita a otimização do sistema de produção, aumentando seu potencial produtivo e reduzindo o impacto da atividade agrícola ao meio ambiente (SENAR, 2019).

A AP surgiu no Brasil em meados da década de 1990 e tem apresentado grande avanço desde então (BERNARDI *et al.*, 2015). Dessa forma, considerando também a relevância do estado do Paraná para a produção agrícola do país, o estágio curricular obrigatório foi realizado na Empresa AM Agricultura de Precisão, sediada em Londrina (PR), no período de 18 de janeiro a 14 de abril de 2021, totalizando 300 horas. O estágio teve como objetivo aprofundar os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso de Agronomia, aplicar na prática algumas das ferramentas da AP e acompanhar a rotina de trabalho da empresa. O presente trabalho, portanto, contém o relato das atividades realizadas durante o estágio, bem como uma discussão acerca dessas atividades e um referencial teórico sobre a agricultura de precisão.

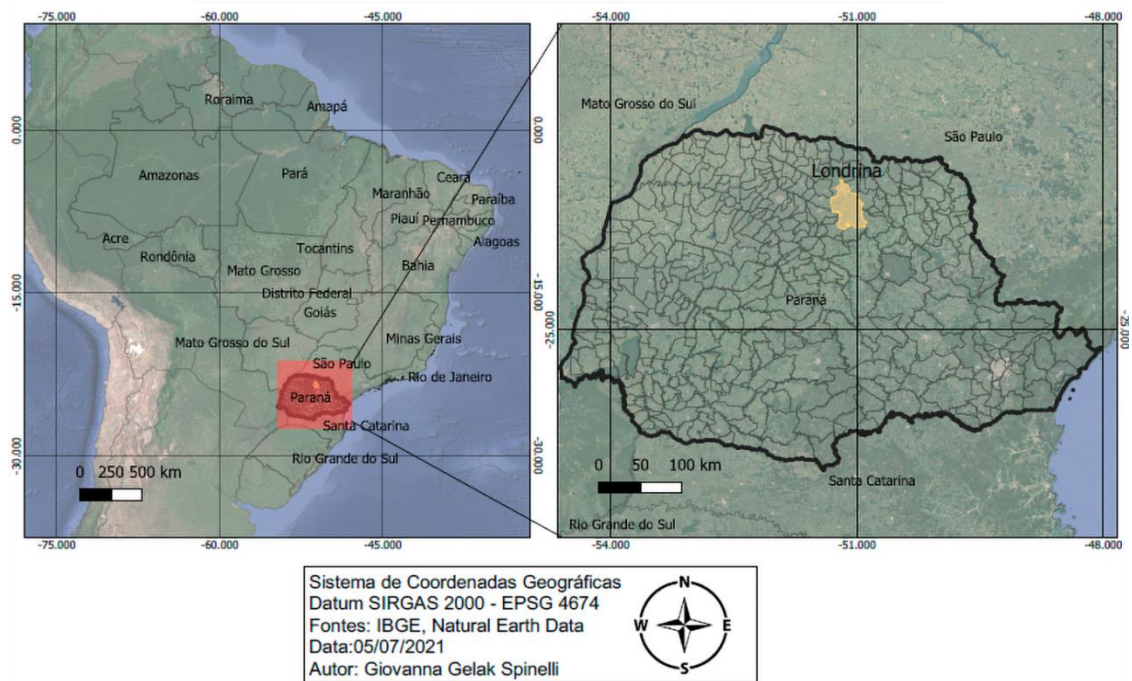
## 2 CARACTERIZAÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ



A AM Agricultura de Precisão está sediada na cidade de Londrina, no estado do Paraná. Em relação especificamente à consultoria em AP realizada pela empresa, são atendidas propriedades em todas as regiões do estado. Já em referência à assistência técnica relacionada ao manejo de lavouras, as propriedades atendidas se localizam nos municípios de Nova Fátima (PR) e Londrina (PR).

O estado do Paraná está localizado na Região Sul do Brasil, entre as coordenadas 22°30'58" e 26°43'00" de latitude Sul e 48°05'37" e 54°37'08" de longitude Oeste (SANTO JÚNIOR, 2008) (Figura 1), numa zona de transição entre os climas tropical e subtropical, sendo cortado pelo Trópico de Capricórnio. Subdividido em dez mesorregiões, o estado possui aproximadamente 11,59 milhões de habitantes (IBGE, 2021) e um Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) de 0,749 (IBGE, 2010).

**Figura 1.** Localização do estado do Paraná e Londrina (PR) no Brasil.



Fonte: a autora, 2021.

Os tipos de clima predominantes do estado são Cfb e Cfa, mas também com presença de Af, Cwa e ocorrência concomitante de Cfa/Af, Cfa/Cfb, Cfa/Cwa, Cfb/Cfa, Cwa/Cfa (ITCG, 2008a), conforme classificação climática de Koppen e Geiger (1928) (ANEXO A). A precipitação anual varia de 1200 a 2600 mm, com média estadual de 1.682 mm, sendo janeiro o mês mais chuvoso (média de 194,8 mm) e agosto o mês mais seco (média de 75,6 mm) (MELLO & SAMPAIO, 2019; NITSCHKE *et al.*, 2019). A temperatura média anual varia entre

14 e 24°C (NITSCHKE *et al.*, 2019), dependendo da região considerada. Em relação ao relevo, o Paraná está dividido em cinco grandes unidades de paisagens naturais: Litoral, Serra do Mar, Primeiro Planalto (Planalto de Curitiba), Segundo Planalto (Planalto de Ponta Grossa) e Terceiro Planalto (Planalto de Guarapuava) (SANTOS *et al.*, 2006).

Os Latossolos constituem a classe de solo predominante no estado, embora também se destaquem Neossolos, Argissolos e Nitossolos, além da ocorrência, em menor proporção, de Cambissolos, Espodossolos, Gleissolos e Organossolos (ITCG, 2008b; LIMA *et al.*, 2012) (ANEXO B). De acordo com Lima *et al.* (2012), os latossolos estão distribuídos em 31% do território paranaense, ocupando, geralmente, os topos da paisagem, em relevos mais planos. Os Neossolos ocorrem em 22% do território, distribuídos por toda extensão do estado, mas com pouca ocorrência na região Noroeste. Os Argilossolos predominam em 15,5% do território, sendo escassos em regiões de rochas basálticas (no Norte, Oeste e Sudoeste do estado). Os Nitossolos, por sua vez, estão presentes em 15% do território do estado, em regiões de rochas basálticas e em relevos moderadamente declivosos.

O Paraná tem a quinta maior economia estadual do Brasil (IPARDES, 2019), a qual é baseada na agricultura e na indústria (SEFAZ PR, [2020]). O agronegócio é responsável por 33,9% do produto interno bruto (PIB) do estado (IPARDES, 2020), havendo destaque para a produção de grãos, especialmente soja, milho e trigo, além da produção de óleos vegetais, laticínios e proteína animal, com destaque à produção de carne de aves (IPARDES, 2019). A atividade industrial também é relevante e diversificada, incluindo bens de consumo não duráveis, insumos (madeira, celulose e petroquímicos), bens duráveis (automóveis) e bens de capital (tratores, caminhões e máquinas e equipamentos agrícolas e industriais). Assim, o Paraná atende o mercado regional e nacional e parte da produção ainda segue para o mercado internacional, principalmente produtos como soja, carnes e automóveis (IPARDES, 2019).

A utilização de tecnologias como adubação e calagem, associada às boas características físicas desses solos permitem uma aptidão agrícola adequada para as culturas anuais, e possibilitam que o Paraná se destaque em termos de produtividade de grãos de diferentes culturas (ALMEIDA, [2010-2019]). Entre 1997 e 2014, o estado mostrou significativa expansão de produção de grãos (MENEGUETTE, 2015), especialmente da cultura da soja, em função de um expressivo incremento de produtividade, possibilitado, principalmente, pela incorporação de tecnologias nos sistemas produtivos (MENEGUETTE, 2015; FRANCHINI *et al.*, 2016).

Em relação à estrutura fundiária do Paraná, a maior parte das propriedades é caracterizada como agricultura familiar. Comparando-se as regiões Norte e Sul do estado, na

região Norte há uma parcela maior de estabelecimentos caracterizados como “agricultura não-familiar” em relação à região Sul (ANEXO C). Da totalidade de estabelecimentos existentes no estado, 81,6% pertencem à agricultura familiar e 18,4% correspondem à agricultura patronal (HAURESKO & THÉRY, 2017).

No período de verão, predomina o cultivo de soja, presente em todas as regiões do estado paranaense (MENEGUETTE, 2015; HAURESKO & THÉRY, 2017) (ANEXO D). O milho e o feijão também são cultivados em todas as regiões do estado, em 2 e 3 safras, respectivamente, dependendo das condições climáticas, sob os mais variados sistemas de cultivo e níveis tecnológicos (MENEGUETTE, 2015). A segunda safra do milho, na qual a cultura é cultivada em sucessão à soja, passou a ser mais relevante do que a primeira safra e a principal opção de cultivo deste cereal nos últimos anos (MENEGUETTE, 2015) (ANEXO E). Atualmente, o milho de segunda safra é o principal cultivo de outono-inverno, havendo também cultivos de trigo, de cevada e de centeio, além de aveia e de canola (MENEGUETTE, 2015). Além disso, o Paraná ocupa o segundo lugar no ranking nacional dos maiores produtores de batata e mandioca (MENEGUETTE, 2015), havendo também produção de café, arroz e amendoim, principalmente por pequenos produtores. Com relação às culturas permanentes, destacam-se a produção de laranja, erva-mate e uva (HAURESKO & THÉRY, 2017). Em relação à pecuária, as produções de leite, ovos e carnes têm grande relevância (HAURESKO & THÉRY, 2017). Em 2018, o Paraná foi o maior produtor de frango e de casulo de bicho da seda e o segundo maior produtor de suínos do Brasil (SEAB/DERAL, 2019).

### **3 CARACTERIZAÇÃO DA INSTITUIÇÃO CONCEDENTE**

A AM Agricultura de Precisão foi fundada em 1998, com especialização em consultoria agrícola. Em 2014, uma reestruturação estratégica da empresa possibilitou que, em 2018, fosse assinado um contrato com a empresa Belagrícola®, o qual permitiu a ampliação e a intensificação da prestação de serviços pela empresa, especialmente no âmbito da agricultura de precisão. Nesta ocasião, foram adquiridos equipamentos, como veículos aéreos não tripulados (VANTs), e novos serviços passaram a ser ofertados, tais como o processamento de imagens aéreas e a confecção de mapas de linha de plantio e colheita, por exemplo.

Atualmente, a empresa conta com um proprietário majoritário e dois sócios proprietários, os quais atuam tanto na área administrativa como nas atividades no campo, e mais sete colaboradores, que atuam nas áreas comercial e técnica. A empresa é dividida em três grandes setores: venda e aluguel de equipamentos, consultoria agrícola e assessoria em AP. O setor de venda e aluguel de equipamentos é voltado, principalmente, para os segmentos de distribuição de sólidos e sementeira. Neste sentido, o distribuidor Hércules (STARA), comandado por monitor Topper 4500, está disponível para aluguel para a aplicação de corretivos e fertilizantes em taxa variável, por exemplo. Dentro desse setor, ainda há venda e instalação de equipamentos de AP em parceria com empresas do setor.

No ramo de consultoria agrônoma, além dos serviços de assistência técnica, são oferecidos projetos de investimento e custeio agrícolas e de terraceamento. A consultoria é voltada, principalmente, para a área de plantas de lavoura, realizando atendimento em três propriedades localizadas nos municípios de Nova Fátima (PR) e Londrina (PR), as quais têm como principais cultivos a soja, o milho e o trigo. Já os serviços de AP, são prestados em diversos municípios do Paraná, abrangendo todas as regiões do estado, sendo o principal cliente a empresa Belagrícola®, também presente em vários municípios. A assessoria em agricultura de precisão está baseada na realização de mapeamentos aéreos e mapeamento georreferenciado de atributos físico-químicos do solo, visando a geração de modelos digitais de elevação do terreno, mapas de linhas de plantio e de fluxo hídrico e mapas de prescrição para aplicação de fertilizantes e corretivos em taxa variável, entre outros.

## **4 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **4.1 Agricultura de precisão (AP)**

O aumento da demanda por produtos provenientes de atividades agrícolas e a simultânea escassez dos recursos naturais nas últimas décadas têm resultado na necessidade de otimização da produção agrícola (MOLIN *et al.*, 2015). Outros fatores, como a globalização da economia e a competitividade por produtos agrícolas, também contribuem para este cenário (MAPA, 2013). Questões de segurança alimentar e sustentabilidade dos sistemas produtivos também são assuntos de extrema relevância que devem ser considerados

no sistema de produção, pois os consumidores e os mercados estão mais exigentes em relação à segurança alimentar, à rastreabilidade de produtos, ao impacto do sistema de produção sobre o meio ambiente e às barreiras sanitárias e fitossanitárias (MAPA, 2013).

Neste contexto, as unidades de produção devem ser gerenciadas de modo a buscar o máximo rendimento das culturas, utilizando os insumos de forma eficiente e precisa, contribuindo para a sustentabilidade ambiental e econômica. Sendo assim, o conhecimento das variabilidades espacial e temporal de atributos do solo e relevo em uma lavoura é fundamental, já que esses atributos influenciam diretamente no desenvolvimento e na produtividade da cultura. Esse conhecimento auxilia na tomada de decisão acerca de tratamentos e manejos específicos para cada parte da lavoura (manejo sítio-específico), conforme o fator limitante de cada área (MOLIN *et al.*, 2015).

A agricultura de precisão pode ser definida como um conjunto de ferramentas e tecnologias que permitem o gerenciamento agrícola e a realização de manejos localizados, buscando a otimização do sistema de produção (SENAR, 2019). Ao contrário da agricultura convencional, que considera o valor médio de determinado atributo para a lavoura, a AP se baseia na variabilidade dos atributos, os quais são espacializados, permitindo administrar cada ponto da lavoura de acordo com a sua real necessidade. Dentre os atributos analisados, pode-se citar as propriedades físico-químicas e biológicas do solo, a ocorrência de plantas daninhas e doenças, o desenvolvimento da cultura e o seu potencial produtivo e o relevo, entre outros. Assim, a AP permite a identificação de locais com diferentes potenciais produtivos e a definição de seus fatores limitantes, possibilitando a definição das práticas para que se obtenha o máximo rendimento e/ou retorno econômico de cada parte do talhão. Pode-se determinar, por exemplo, a aplicação de diferentes doses de fertilizantes ou o aumento ou diminuição da densidade populacional de plantas em determinadas partes da lavoura, dependendo de sua viabilidade econômica e técnica (MAPA, 2013; MOLIN *et al.*, 2015).

De acordo com Molin (2017), as baixas produtividades detectadas em algumas regiões da lavoura podem ser resultantes de fatores em que não é possível intervir, como, por exemplo, a textura do solo. Nessas situações, sugere-se “tratar as regiões de baixa produtividade de acordo com o seu baixo potencial, com menor aporte de insumos, visando obter lucro, mesmo que com baixa produtividade”, enquanto que as regiões de alto potencial produtivo podem receber maior aporte de insumos, visando explorar o limite do seu potencial produtivo (MOLIN, 2017).

As intervenções agrônômicas podem ser realizadas no sentido de incrementar a produtividade, o que pode aumentar os custos dentro dos limites da lucratividade, ou de

reduzir custos, por meio da racionalização do uso de insumos a partir dos preceitos da AP (conhecimento das variabilidades espacial e temporal) (MOLIN *et al.*, 2015). Além disso, vale salientar a importância da obtenção de dados, registrando-se os resultados dos manejos realizados na lavoura a fim de observar as perdas e ganhos com cada manejo e, desta forma, determinar as melhores práticas a serem adotadas. Com isso, o registro da produtividade em diversos pontos georreferenciados e a posterior geração de mapas de colheita são de extrema relevância, pois estes espacializam a produtividade obtida em cada ponto da lavoura. Assim, quanto maior o número de dados obtidos, mais consistentes serão as informações geradas e o diagnóstico das causas da variabilidade espacial do rendimento de grãos indicada nos mapas de colheita (MOLIN, 2017).

Alguns avanços tecnológicos impulsionaram e possibilitaram a aplicação dos conceitos de AP. As tecnologias disponíveis podem ser divididas em seis categorias: i) computadores e programas, ii) GPS – Sistema de Posicionamento Global, iii) SIG – Sistema de Informação Geográfica, iv) sensoriamento remoto, v) sensores e vi) controladores eletrônicos de aplicação, sendo que a integração dessas tecnologias possibilitou a prática de novos manejos, com maior detalhamento e qualidade, quando realizados corretamente (COELHO, 2005). Os Sistemas Globais de Navegação por Satélites (GNSS), por exemplo, são importantes ferramentas da AP, pois possibilitam o manejo localizado a partir da determinação, de forma precisa, da localização geográfica dos atributos estudados e dos trajetos que deverão ser percorridos pelos equipamentos (SENAR, 2019). As ferramentas da AP disponíveis, como sensores, equipamentos para aplicação em taxa variável de fertilizantes, corretivos e sementes e piloto automático, entre outros, auxiliam na gestão do sistema produtivo e contribuem para que as práticas agrícolas apresentem maior precisão e para que as decisões sejam mais assertivas (MAPA, 2013).

## **4.2 Histórico da agricultura de precisão**

Antigamente, os agricultores trabalhavam em pequenas áreas, geralmente de forma manual ou com poucas máquinas e implementos bastante simples, o que os permitia observar e ter conhecimento sobre a variabilidade espacial existente na área e seus efeitos sobre o desenvolvimento e produção das culturas (MOLIN *et al.*, 2015), tomando as decisões de manejo com base nessa variabilidade e nas respostas que eram observadas nas culturas (COELHO, 2005). Com a mecanização da agricultura, as áreas de cultivo tornaram-se

maiores em muitas regiões, e a potência e a capacidade das máquinas aumentaram exponencialmente, apresentando alta capacidade de tratar grandes áreas de maneira uniforme, fazendo com que o produtor não acompanhasse mais de modo tão detalhado cada área da sua lavoura (MOLIN *et al.*, 2015).

De acordo com Molin *et al.* (2015), no início do século XX já havia relatos de trabalhos mostrando os benefícios de conduzir lavouras “de forma mais detalhada e localizada”, até mesmo tratando sobre aplicações de insumos a taxa variável. O autor relata que a adoção prática dessas ferramentas, entretanto, ocorreu apenas a partir da década de 1980, com a confecção dos primeiros mapas de produtividade na Europa e as primeiras adubações a taxa variável de forma automatizada nos Estados Unidos. Já nos anos 1990, a liberação do sinal do GPS para uso civil estimulou a implementação de práticas de AP (MOLIN *et al.*, 2015), possibilitando a instalação de receptores GNSS em colhedoras e permitindo o armazenamento de dados de produção instantaneamente, junto à coordenada geográfica do ponto em que se fez a colheita (BERNARDI *et al.*, 2014), resultando em grande avanço da AP, especialmente nos EUA.

No Brasil, os primeiros trabalhos relacionados à AP ocorreram em meados da década de 1990, iniciando com a importação de colhedoras de grãos equipadas com monitores de produtividade (MOLIN *et al.*, 2015; BERNARDI *et al.*, 2014). Também nessa época, foram iniciados trabalhos relacionados ao estudo da variabilidade espacial de atributos relacionados à fertilidade do solo, principalmente por produtores de cana de açúcar, que passaram a utilizar a amostragem georreferenciada solo e maquinário importado para a realização de aplicações em taxa variável de fertilizantes, calcário e gesso (MOLIN, 2017). No início dos anos 2000, surgiram as primeiras máquinas brasileiras para aplicação em taxa variável de granulados e pós, equipadas com controladores importados, os quais, por sua vez, começaram a ser fabricados no Brasil a partir de 2002 (MOLIN *et al.*, 2015). É importante ressaltar que, em 2000, o governo norte-americano eliminou a degradação intencional do sinal do GPS (“disponibilidade seletiva”), que causava um erro exagerado nos posicionamentos, elevando o custo operacional para a correção do sinal. Esses fatores contribuíram para que, a partir de 2002, as aplicações de fertilizantes e corretivos em taxa variável a partir da amostragem de solo georreferenciada fossem impulsionadas no mercado, dando espaço para o surgimento das primeiras empresas de consultoria em agricultura de precisão (MOLIN, 2017). Ainda surgiram outros equipamentos, como sistemas de direção automática, e equipamentos já existentes, como as barras de luz, passaram a ser utilizadas em aviões agrícolas, pulverizadores autopropelidos, tratores e outros veículos (MOLIN *et al.*, 2015).

### 4.3 Ferramentas

A agricultura de precisão dispõe de diversas ferramentas que servem de base para a obtenção, o processamento e o armazenamento de dados. As ferramentas podem ser utilizadas em conjunto ou separadamente, dependendo do objetivo a ser alcançado e da capacidade de investimento. Dentre as ferramentas associadas aos objetivos da AP, destacam-se o Sistema global de navegação por satélites (GNSS), Sistema de Informações Geográficas (SIG), aplicação em taxa variável, sensoriamento remoto, monitores de colheita, amostradores de solo e imagens aéreas, além de diversos sensores de matéria orgânica, pH, plantas daninhas, compactação e condutividade elétrica do solo, entre outros (PIRES *et al.*, 2004).

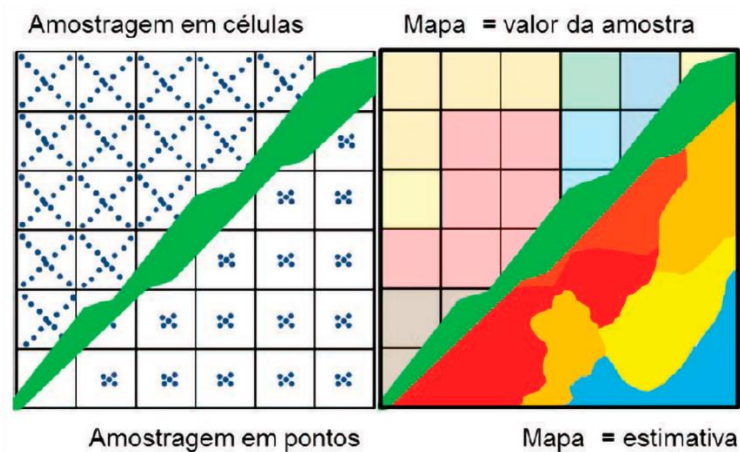
Sendo os atributos de fertilidade do solo grandes influenciadores do potencial produtivo das lavouras, o correto manejo da adubação é fundamental para o alcance de altas produtividades (RESENDE & COELHO, 2017). O diagnóstico da fertilidade é feito por meio de análises de solo e, para isso, a AP apresenta a amostragem georreferenciada, que tem sido uma das ferramentas mais adotadas atualmente. A amostragem georreferenciada permite o mapeamento de diversos atributos com um maior nível de detalhamento em relação à amostragem convencional, pois subdivide o talhão em pequenas áreas. Assim, cada uma delas passa a ser manejada de acordo com sua necessidade, otimizando recursos para que o potencial produtivo seja alcançado. Neste caso, os mapas interpolados obtidos da amostragem georreferenciada de solo servem de base para a elaboração de mapas de recomendação (mapas de aplicação ou prescrição) de adubação e calagem em taxa variável (MAPA, 2013).

São diversos os tipos de amostragem localizada existentes, sendo a amostragem em grade a de maior destaque, que, por sua vez, ainda pode ser subdividida em amostragem em pontos e amostragem em células (GIMENEZ & ZANCANARO, 2012). Os pontos e/ou células onde deverão ser realizadas as coletas são determinados através de programas computacionais, que geram uma malha amostral regular para divisão do talhão em quadrículas imaginárias. Na amostragem em pontos, são coletadas subamostras em um raio previamente definido ao redor do ponto determinado, para comporem uma amostra composta por ponto. O valor obtido através da análise de solo será utilizado para caracterizar o ponto em questão, com utilização da geoestatística para estimar valores de um determinado atributo para locais não amostrados (interpolação). Já na amostragem em células, deve-se realizar um caminhamento na área para a coleta de um número maior de subamostras dentro de cada



célula (GIMENEZ & ZANCANARO, 2012). Os valores obtidos de cada amostra representarão a totalidade da área da célula, não se fazendo necessária a utilização da interpolação. A Figura 2 representa esquematicamente os dois tipos de amostragens, bem como o mapa resultante de cada um, sendo que o número de amostras e o espaçamento entre elas (densidade amostral) são parâmetros de extrema importância para a amostragem (GIMENEZ & ZANCANARO, 2012). A retirada de subamostras é muito importante para eliminar ou reduzir significativamente as interferências locais, sejam elas naturais ou não (MAPA, 2013).

**Figura 2.** Esquema comparativo dos tipos de amostragem e o mapa resultante.



Fonte: Gimenez e Zancanaro, 2012.

Outra ferramenta que ocupa cada vez mais espaço na agricultura é a utilização de sensores, os quais possibilitam o mapeamento de atributos de solo e de planta, através da resposta a um estímulo físico ou químico de maneira específica e mensurável (MOLIN *et al.*, 2015). Podem ser citados alguns exemplos, como clorofilômetros, sensores de pH e de condutividade elétrica do solo, sensores de produtividade e sensores de vegetação.

A grande vantagem dos sensores é a maior capacidade de coleta de dados em relação à amostragem georreferenciada, o que possibilita uma caracterização mais detalhada e confiável da variabilidade da lavoura. Os dados coletados por um sensor conectado a um receptor GNSS podem ser pós-processados para análise ou utilizados em tempo real, ou seja, ao mesmo tempo em que o sensor mensura o atributo, o sistema determina, por exemplo, a aplicação ou não do insumo no ponto coletado.

O sensoriamento remoto possibilita a captura de imagens aéreas via sensores embarcados em satélites ou VANTs (DUTRA & GUIMARÃES, 2015), fornecendo

informações sobre culturas, solos e relevo (MOLIN *et al.*, 2015). As imagens obtidas através das câmeras multiespectrais embarcadas em VANTs apresentam resolução espacial melhor do que aquelas obtidas de satélites, embora imagens de satélite possuam também boa resolução espacial e estão acessíveis gratuitamente, dependendo da plataforma considerada, o que têm resultado em sua maior utilização na agricultura nos últimos anos.

Além dos sensores, podem ser utilizados os índices de vegetação, visando a avaliação e diagnóstico de fatores como cobertura vegetal, índice de área foliar, biomassa e produtividade, entre outros. Há diversos índices, cada um deles com um objetivo, e que podem explicar a variabilidade do rendimento dos grãos. Neste contexto, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é o mais conhecido (MARCUSSE *et al.*, 2010), principalmente pela sua correlação com o rendimento de grãos das culturas (DAMIAN, 2017). Este índice é obtido a partir da relação  $(NIR - R) / (NIR + R)$ , onde NIR se refere à reflectância na faixa espectral do infravermelho próximo e R à reflectância na faixa espectral do vermelho. O NDVI pode assumir valores entre -1 e +1, sendo que os valores positivos se relacionam ao vigor da cultura, enquanto que os valores negativos apontam presença de solo sem cobertura e ausência de vegetação.

O tratamento localizado pode ser realizado através de mapas de recomendação obtidos com as amostragens de solo, em tempo real através de sensores ou a partir da definição de Unidades de Gestão Diferenciadas (UGDs), mais conhecidas como Zonas de Manejo (MOLIN *et al.*, 2015). O princípio das UGDs é dividir uma área agrícola em subáreas homogêneas, que possuem as mesmas características e potencial produtivo, demandando, desta forma, manejos semelhantes. Esta divisão é realizada de diferentes formas, considerando diversas combinações de mapas e outros dados da área, de apenas uma safra ou incluindo anos anteriores, o que dá maior confiabilidade, uma vez que abrange não só a variabilidade espacial, mas também a variabilidade temporal dos atributos da área. Geralmente, são utilizados para definição das zonas atributos incapazes de serem alterados por práticas agronômicas e independentes de fatores antrópicos, como textura do solo (MOLIN *et al.*, 2015), embora seja importante, segundo Damian (2017), definir as UGDs com base em informações espaciais que sejam estáveis ou previsíveis ao longo do tempo, sendo o rendimento de grãos da cultura o melhor parâmetro para diagnóstico das variações ocorrentes no campo. Molin *et al.* (2015) também sugerem que os dados obtidos sobre a cultura, principalmente o histórico da produtividade, são os melhores indicadores para definir o potencial de resposta de cada zona, já que a variabilidade do rendimento de grãos reflete o

potencial do solo em oferecer condições adequadas para as culturas expressarem seu máximo rendimento.

#### **4.4 Cenário brasileiro**

A AP no Brasil vem avançando, principalmente, por meio de tecnologias embarcadas em máquinas, como piloto automático (MOLIN, 2017), e da amostragem georreferenciada de solo, que serve de base para a aplicação localizada e em taxa variável de insumos, a qual tem grande apelo comercial pela economia de insumos e pela melhoria de produtividade da cultura (MOLIN *et al.*, 2015). Para trabalhar com a agricultura de precisão, além da necessidade de investimento de equipamentos, é de extrema importância o investimento em conhecimento. Para tanto, a assistência técnica privada ainda se encontra em franca expansão.

O trabalho de Molin (2017), a partir de um extenso levantamento de dados, tinha como objetivo entender o mercado de AP no Brasil. Foram realizadas entrevistas com produtores de soja e milho das regiões Sul, Cerrado e MAPITOBA (Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia) e constatou-se que, em relação à gestão da variabilidade espacial da lavoura, 45% dos produtores utilizam alguma técnica de AP, dos quais 79% fazem mapeamento para gestão da fertilidade do solo. Deste grupo que realiza o mapeamento, 43% utilizam amostragens georreferenciadas (ANEXO F). O tamanho da grade amostral tem grande variação, sendo que, no Sul do Brasil, apenas 26% dos entrevistados utilizam grades maiores que 3 ha (1 ponto amostral por 3 ha), enquanto que, no Cerrado e MAPITOBA, o percentual aumenta para 50% e 58%, respectivamente (ANEXO G). Já em relação aos componentes de monitoramento de operações e automação de máquinas, a pesquisa aponta que a tecnologia mais adotada é a de piloto automático, seguida pela de monitor de plantio (ANEXO H). No entanto, apenas 31% dos produtores utilizam informações de monitores de colheita. Outro aspecto apontado na pesquisa é o tipo de sinal GNSS utilizado, no qual há grande predominância do sinal aberto, sem nenhuma correção (ANEXO I). Os produtores ainda foram questionados sobre o motivo da adoção de tecnologias de AP e responderam que a decisão é, principalmente, voltada para a expectativa de aumento de produtividade e redução dos custos de produção (ANEXO J).

Pesquisas de Bolfe *et al.* (2020), através de questionários realizados para produtores espalhados em todo o Brasil, também trazem uma caracterização do cenário da AP no país. Em relação às tecnologias digitais que são adotadas, 84,1% dos produtores entrevistados

utilizam pelo menos uma das tecnologias listadas em seu processo produtivo, destacando-se acesso à internet e a conectividade (70,4%) (ANEXO K). Ao analisar as expectativas futuras, observou-se que os agricultores têm interesse em iniciar ou fortalecer o uso de tecnologias (ANEXO L), sendo que 95% do total de respondentes indicaram ter interesse em receber mais informações sobre a agricultura digital e suas aplicações. Em relação às abordagens de acesso utilizadas para implementação dessas tecnologias, a maioria dos agricultores apontam ser por meio de aquisição direta e uso próprio de máquinas, equipamentos e aplicações (68,8%); acesso por meio de consultoria ou serviços oferecidos por associações, cooperativas, sindicatos ou ONGs (30,8%); acesso por meio de consultoria ou serviço público oferecido por prefeituras, governo estadual ou federal (20,8%); e via contratação de serviços ou consultorias especializadas em agricultura digital (19,0%). A percepção dos produtores sobre os impactos observados nos seus processos produtivos é positiva, trazendo como destaque o aumento da produtividade agrícola, apontada por 64,7% dos agricultores, seguida da percepção de maior facilidade de comercialização e planejamento da propriedade (62,7%), além de redução dos custos de produção (62,3%) (ANEXO M). Em relação aos desafios e impedimentos à expansão das tecnologias digitais utilizadas, foi constatado que, independentemente do tamanho da propriedade, o principal desafio é o valor de aquisição de máquinas, equipamentos e/ou aplicativos (68,5%) (ANEXO N). Na sequência, o segundo maior desafio para as propriedades com menos de 20 ha é o valor da contratação de prestadores de serviços especializados (45,3%), enquanto que, para propriedades acima de 500 ha, a falta de conectividade ocupa a segunda posição (69%).

## **5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS**

Ao longo do estágio, as atividades desenvolvidas seguiram a rotina e as demandas da empresa AM Agricultura de Precisão, envolvendo conhecimento e interatividade com *softwares* de AP para geração de mapas interpolados e processamento de imagens obtidas com sensores embarcados em VANT. Outras atividades estão relacionadas ao acompanhamento de voo com drone, amostragem de solo e desenvolvimento de material técnico.

## 5.1 Acompanhamento de atividades a campo

No dia 26 de março de 2021, foi realizado voo com VANT para captura de imagens aéreas de uma propriedade rural localizada no município de São Jerônimo da Serra (PR). O VANT utilizado foi o Arator 5B, equipado com sistema RTK, e as imagens capturadas foram processadas no programa AgisoftMetashape, a fim de formar um ortomosaico.

No dia 01<sup>o</sup> de abril de 2021, foi realizada coleta georreferenciada de solo, embora as coletas sejam realizadas em sua maior parte no período de entressafra, entre os meses de agosto e outubro. Também são realizadas coletas, em menor proporção, entre os cultivos de soja (primeira safra) e de milho (segunda safra), mas, neste caso, são realizadas em poucas áreas, em função da falta de tempo hábil pelo curto período de tempo entre a colheita da soja e a semeadura do milho. Para a coleta de solo, são utilizados quadriciclos para deslocamento no terreno e furadeiras/brocas para a retirada das amostras.

A empresa possui 10 quadriciclos, sendo apenas um deles equipado com amostrador automático, que possui GPS embarcado e recebe o arquivo com os pontos de amostragem georreferenciados. Nesse caso, o deslocamento é realizado e, ao chegar ao ponto determinado, aciona-se um botão para iniciar a coleta de solo, a qual é realizada até a profundidade de 60 cm, com estratificação de 10 em 10 cm. Os demais quadriciclos são utilizados apenas para deslocamento no terreno e carregamento das amostras. A navegação é realizada com auxílio do aplicativo InCeres, através do qual o amostrador tem acesso ao mapa de amostragem que lhe foi enviado com os pontos de coleta. A precisão do GPS do *smartphone* é suficiente para que o amostrador se localize espacialmente e se dirija aos pontos, sendo coletada uma amostra a cada três hectares, e cada amostra composta por 10 subamostras coletadas no entorno do ponto amostral georreferenciado.

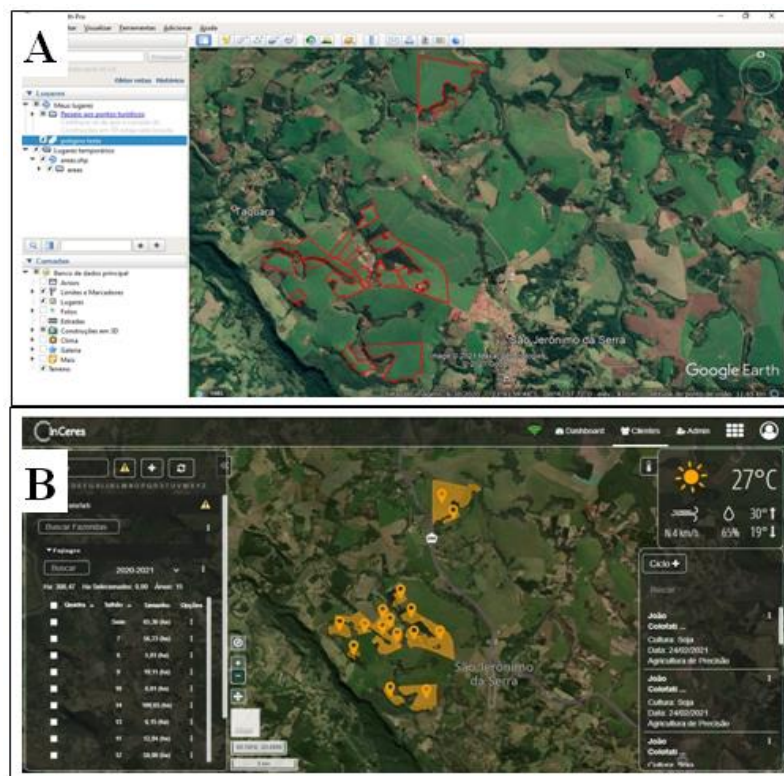
## 5.2 Uso de programas computacionais relacionados à Agricultura de Precisão

Para a geração de mapas de amostragem, de química e física do solo (teor de nutrientes e textura, por exemplo) e de recomendação de adubação e de calagem (mapas de prescrição) são utilizados programas computacionais, como a plataforma InCeres. Essa plataforma possibilita a coleta, o processamento e o armazenamento de dados agrícolas, com enfoque na fertilidade e nutrição de plantas (INCERES, 2020). A partir deste programa, obtém-se um *book* completo com os mapas interpolados de cada talhão de uma propriedade, o

qual é entregue ao produtor. Para aprender a trabalhar na InCeres, houve aulas e auxílio dos colaboradores da empresa do setor de AP.

Após a contratação do serviço de coleta de solo, o agrônomo responsável pela propriedade disponibiliza para o setor de AP da empresa as coordenadas geográficas e um esboço dos talhões a serem amostrados, para que esses talhões sejam delimitados no aplicativo Google Earth, gerando um arquivo no formato kml ou kmz (Figura 3a). No programa InCeres, então, é realizado o cadastro do produtor e da propriedade em questão e os arquivos kml/kmz dos talhões são importados para o programa (Figura 3b). Para iniciar, é criado um novo ciclo no talhão que será trabalhado, indicando a cultura e a safra em questão.

**Figura 3.** Capturas de tela durante a confecção das delimitações dos talhões de uma propriedade localizada em São Jerônimo da Serra (PR) (A) e as áreas exportadas para o programa InCeres (B) para cadastro de nova propriedade.



Fonte: a autora, 2021.

O primeiro mapa a ser gerado é o mapa de amostragem, a qual pode ser realizada por *grid* (grade) ou zonas de manejo. Além disso, em amostragens por *grid*, pode-se optar ainda entre “*grid* quadrático” (mais conhecido como *grid* regular) ou “*grid* otimizado”. A Figura 4 apresenta uma comparação entre os *grids* disponíveis. Na amostragem por *grid*, é necessário indicar alguns itens, como a densidade de pontos (densidade amostral) e a profundidade de

coleta. Na empresa, a densidade de pontos utilizada é de um ponto a cada 3 ha e a profundidade dependerá do serviço contratado, sendo normalmente adotadas duas profundidades (0-20 e 20-40 cm). Ainda há a opção de mover, adicionar ou remover algum ponto amostral, bem como utilizar imagens de satélite para averiguar se algum ponto está em um local inadequado, como, por exemplo, estradas ou floresta. O mapa pronto, então, é enviado ao amostrador responsável pela coleta na área.

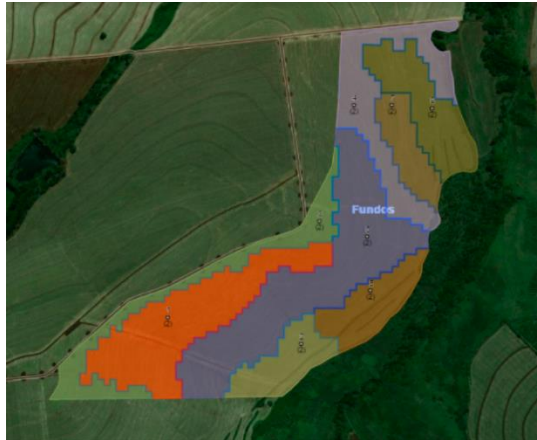
**Figura 4.** Capturas de tela do programa InCeres durante a confecção de mapas de amostragem, comparando-se a utilização de *grid* otimizado (A) e *grid* regular (B) em um mesmo talhão de uma fazenda localizada no município de São Jerônimo da Serra (PR).



Fonte: a autora, 2021.

No caso da amostragem por zonas de manejo ou unidades de gestão diferenciadas (UGD), é utilizada uma informação prévia da área para delimitação destas zonas. Geralmente, são utilizados mapas de altimetria do talhão e imagens de NDVI dos últimos cinco anos, obtidos na própria plataforma InCeres. Na escolha das imagens de NDVI, preconiza-se utilizar uma imagem por ano, correspondente ao período de cultivo de milho segunda safra (geralmente entre os meses de maio e junho), escolhendo imagens com a maior qualidade possível. Posteriormente, na aba de amostragem, seleciona-se a aba UGD, juntamente com as imagens e o mapa que serão utilizados para determinar as zonas de manejo, as quais têm entre 8 e 12 hectares. Após, é criada uma grade amostral e enviada para o amostrador, para que seja realizada a coleta de solo no campo. A Figura 5 apresenta um mapa de amostragem em zonas de manejo.

**Figura 5.** Captura de tela do programa InCeres durante a realização de um mapa de amostragem para uma propriedade localizada em Jaguapitã (PR), que utiliza as zonas de manejo.

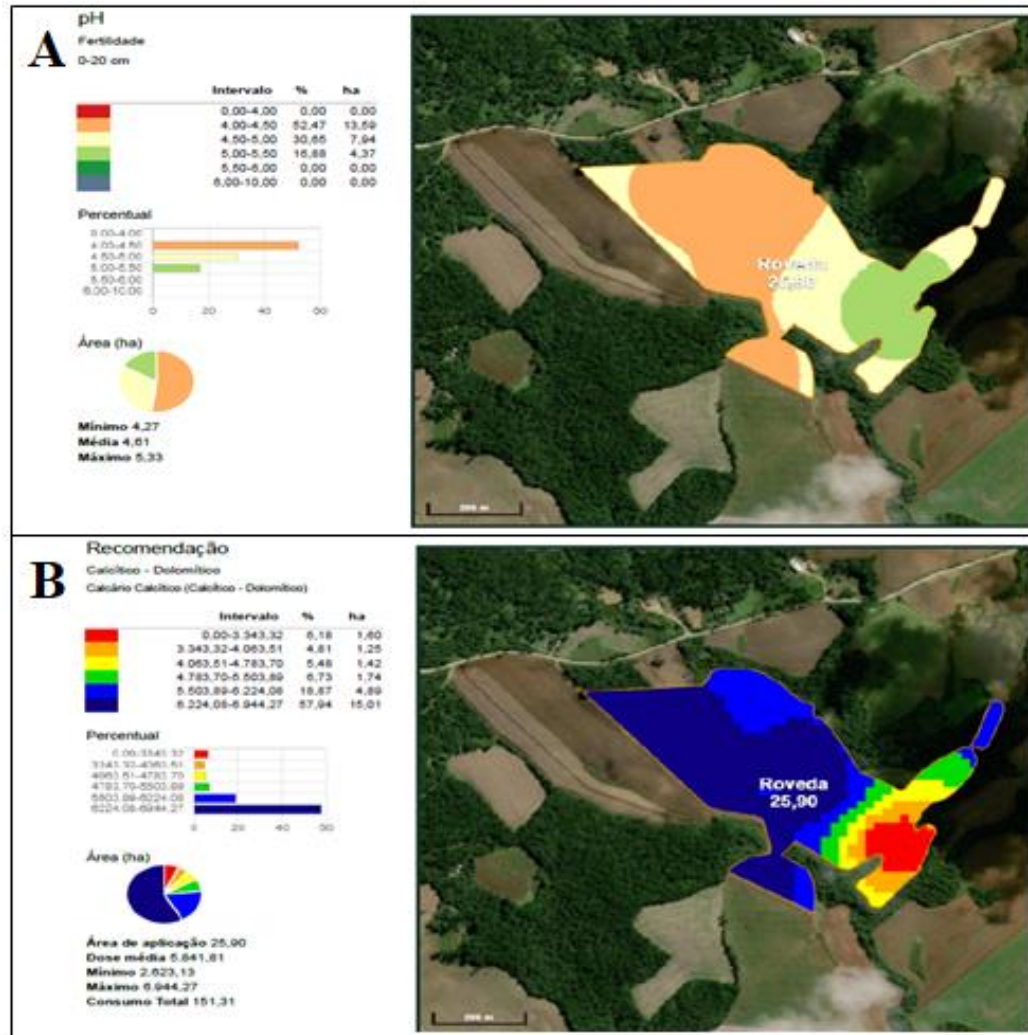


Fonte: a autora, 2021.

O laboratório envia o resultado das análises em uma planilha, a qual é formatada de acordo com o padrão da plataforma. Com a importação dessa planilha para o *software* InCeres, são gerados os mapas interpolados de atributos químicos e físicos do solo, bem como os mapas de recomendação (mapas de aplicação ou prescrição) de adubação e calagem (Figura 6), sendo que os cálculos de recomendações já se encontram pré-configurados no programa. Posteriormente, confecciona-se um *book* por talhão contendo todos os mapas gerados, o qual é entregue ao cliente.



**Figura 6.** Capturas de tela do *e-book* confeccionado para uma fazenda localizada em Rebouças (PR), apresentando a variabilidade do pH e a recomendação de calcário dolomítico para o talhão “Roveda”. Junto aos mapas, consta a legenda com os intervalos de valores representados por cada cor e a quantidade de área em cada cor (em porcentagem de área total e em hectares).



Fonte: a autora, 2021.

Em relação às imagens obtidas com o VANT, estas podem ser utilizadas em diversos programas, dentre eles AgisoftMetashape, QGIS e AutoCAD, utilizados de forma individual ou associados. As imagens capturadas no mapeamento aéreo precisam ser unificadas em uma única foto, sendo o software AgisoftMetashape utilizado para tal processamento. O AgisoftMetashape é, portanto, um *software* de processamento de imagens que possibilita a confecção de mapas georreferenciados com informações em 2D e 3D do terreno (DRONE VISUAL, 2019). Para isso, as imagens obtidas são importadas para o programa e se faz necessária uma correção manual dos pontos de controle, uma vez que o drone utilizado possui sistema RTK (Real Time Kinematic). Após a correção dos pontos de controle, é realizada

uma junção das imagens capturadas, obtendo-se um ortomosaico (Figura 7). O ortomosaico resultante trata-se, então, da junção de todas as fotos, formando apenas uma imagem de toda a área, com alta resolução espacial, que pode ser utilizada em outros programas para confecção de mapas ou outros produtos. De modo geral, esses ortomosaicos são utilizados posteriormente no aplicativo QGIS, no qual são gerados outros mapas que servem de base para recomendações de manejo de prevenção à erosão hídrica, por exemplo (construção de terraços a partir da análise dos mapas de fluxo hídrico, NDVI e imagens RGB).

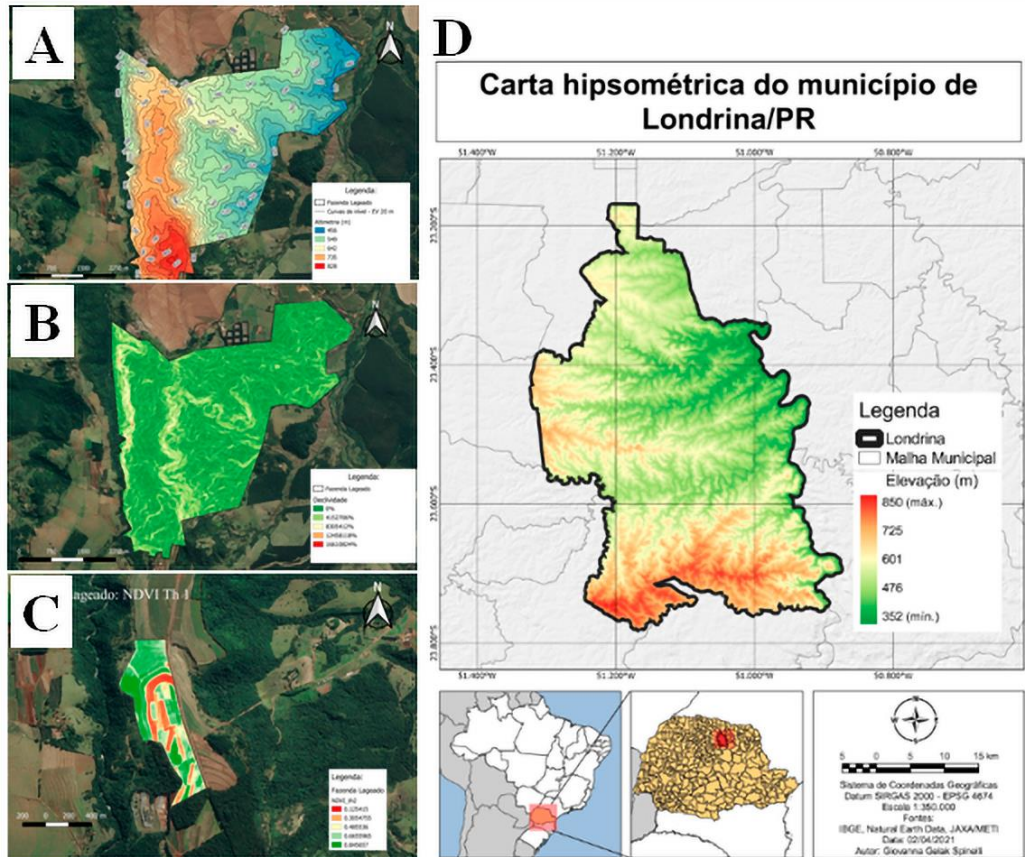
**Figura 7.** Ortomosaico formado a partir das imagens obtidas com o drone Arator 5B, no voo acompanhado no dia 26 de março de 2021. As imagens foram processadas no programa AgisoftMetashape.



Fonte: a autora, 2021.

Em relação ao *software* QGIS, foi realizado um curso online teórico-prático com carga horária de 3,5 horas nas dependências da empresa, além de participação de um evento online sobre o aplicativo. No aspecto teórico, foi abordada uma breve introdução à AP e suas aplicações, sistemas de coordenadas geográficas, *datum* e instruções para busca de informações e arquivos necessários para a confecção de mapas, como imagens de satélite e malha municipal, entre outros. Na prática, foram criados mapas de altimetria, declividade, NDVI e modelo digital de elevação (Figura 8). O curso foi de extrema importância para familiarização com o *software* e suas ferramentas, além de trazer fixação do conteúdo prático através dos mapas confeccionados.

**Figura 8.** Mapas confeccionados durante as práticas dos cursos realizados. Mapa de altimetria (A) e declividade (B) da fazenda Lageado, localizada em São Paulo (SP); NDVI do Talhão 1 da Fazenda Lageado (C); Modelo Digital de Elevação do Terreno do município de Londrina (PR) (D).



Fonte: a autora, 2021.

Também houve interação com o *software* Terraços 4.1, através do acompanhamento do desenvolvimento de um projeto de terraceamento. O programa foi desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) para cálculo das distâncias vertical e horizontal, utilizando a fórmula de Lombardi. No caso desse projeto, a partir do QGIS e do ortomosaico da propriedade em questão, foram feitas as curvas de nível com espaçamento vertical de 1 metro entre elas e, posteriormente, as linhas dos terraços são indicadas com uma cor diferente das demais linhas. Com o resultado dos espaçamentos vertical e horizontal obtidos no programa, confecciona-se o mapa com as linhas de terraços com o dobro desses espaçamentos, devido à dificuldade da maioria dos produtores em aceitar a utilização de terraços. Sendo assim, de acordo com o desejo do produtor, essas linhas podem ser realocadas de forma mais simples. Posteriormente, é utilizado o programa AgroCAD para suavização das linhas e para compatibilizar o formato do arquivo do mapa com o formato aceito pelo equipamento utilizado no trator.

### 5.3 Outras atividades

Para apresentação das indicações e recomendações técnicas acerca dos serviços prestados pela empresa, são elaborados relatórios das visitas técnicas e *books* e *e-books* abordando os serviços de AP. Nesta perspectiva, foram realizadas pesquisas sobre as regiões ou municípios em que as propriedades se encontram acerca de dados edafoclimáticos para os municípios de Santa Maria do Oeste e Cornélio Procópio, ambos localizados no Paraná. Foram caracterizados os solos ocorrentes nas propriedades, além de um levantamento de dados sobre a geologia e a classificação climática da região. Também foram realizados gráficos de temperatura (máxima, média e mínima), precipitação, umidade e insolação a partir de dados meteorológicos referentes aos últimos cinco anos, obtidos no *site* do Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Ainda, foram elaborados textos explicativos sobre os mapas apresentados, com o objetivo de auxiliar o produtor a compreendê-los e utilizá-los de forma mais adequada.

Junto ao setor de *marketing*, foram elaborados textos para posterior publicação nas redes sociais da empresa. Os textos abordavam os temas de manejo e conservação do solo, sensoriamento remoto e suas aplicações na agricultura, aplicação de insumos em taxa variável e utilização de imagens de NDVI, a fim de divulgar aos produtores as tecnologias ligadas à agricultura de precisão, utilizando linguagem técnica e com referências bibliográficas para a validação dos dados.

## 6 DISCUSSÃO

Tendo em vista a importância da agricultura para o país, a utilização de técnicas que possibilitem o melhor gerenciamento da lavoura, trazendo benefícios como aumento da produtividade, menor impacto do sistema sobre o meio ambiente e maior segurança alimentar, é de extrema relevância, uma vez que há necessidade de aumento da produção e o mercado está cada vez mais exigente nestas questões. Neste sentido, a AP tem apresentado grande avanço em tecnologias, pesquisas e adoção, mostrando-se viável para a produção comercial.

Os programas computacionais utilizados pela empresa, como QGIS, InCeres, AgisoftMetashape, AutoCad e Agrocad são excelentes ferramentas para elaboração de mapas e outros produtos de AP. Além disso, programas como o QGIS, que é um software livre, são acessíveis a diversos públicos e de muita utilidade. Portanto, o aprendizado e a prática proporcionados durante o período de estágio foram válidos e ajudaram a consolidar conteúdos abordados nas disciplinas do curso de Agronomia.

Em relação à elaboração de mapas de amostragem, há diversos métodos que podem ser utilizados para identificar e caracterizar a variabilidade de atributos do solo. Recentemente, para amostragem sistematizada e mapeamento de solo, o método mais utilizado “consiste no estabelecimento de uma grade amostral regularmente distribuída no campo” (grade amostral regular), a qual possibilita a posterior interpolação dos dados para elaboração de mapas de diagnóstico da condição química e/ou física da área (RESENDE & COELHO, 2017).

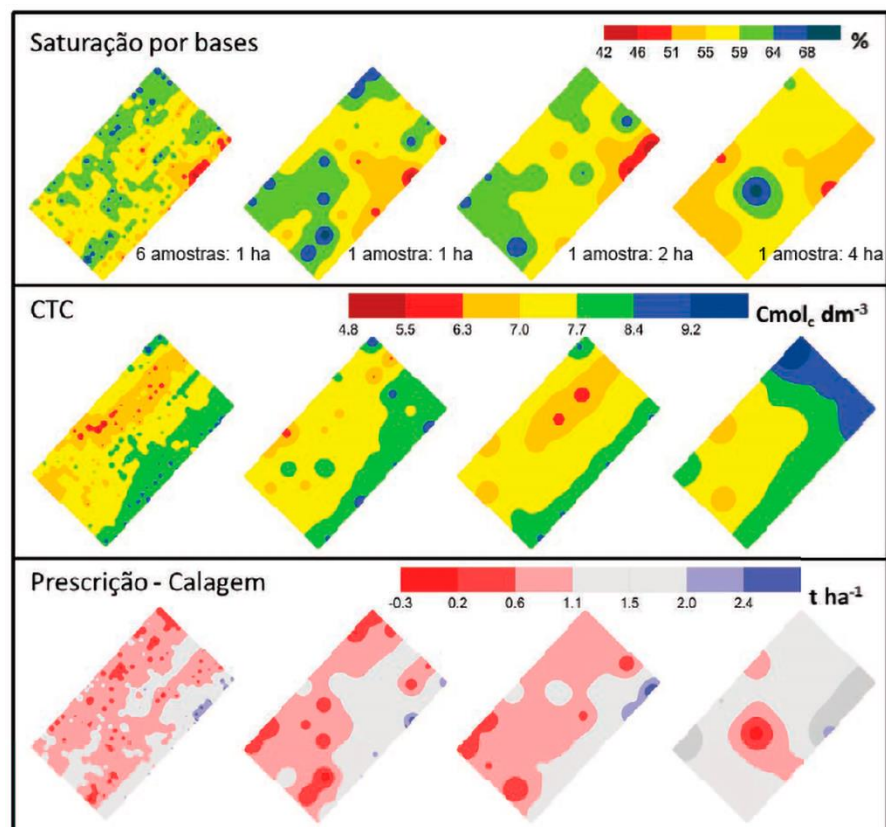
O programa InCeres possibilita que sejam utilizados o *grid* regular ou o *grid* otimizado. O *grid* otimizado é o principal benefício do programa, pois, em comparação ao *grid* regular, consegue caracterizar melhor a dependência espacial da área, pois realiza uma melhor espacialização e distribuição dos pontos amostrais, principalmente em casos em que os talhões são mais “recortados”. Isso ocorre porque o *grid* otimizado possui maior flexibilidade, ajustando-se melhor em áreas menos regulares, visto que, no *grid* regular, os pontos são alocados de modo a formar quadrículas na área. Portanto, justifica-se a escolha da utilização do programa InCeres pela empresa, em virtude de trazer maior agilidade na elaboração de mapas e possuir esta ferramenta de alocação e otimização dos pontos de amostragem.

A fim de se ter confiabilidade no mapeamento de atributos de qualquer parâmetro, é necessário um número mínimo de amostras para que os dados sejam analisados geostatisticamente e resultem em um mapa adequado (RESENDE & COELHO, 2017). A densidade de pontos amostrais tem relação direta com o detalhamento desejado, portanto, quanto maior o número de pontos amostrais por área, maior o adensamento da grade amostral e, conseqüentemente, melhor a qualidade e confiabilidade do mapa interpolado gerado. Porém, para que determinado tamanho de quadrícula amostral seja viável, é necessária a existência de correlação (dependência espacial) entre os valores de pontos vizinhos para estimar, através da interpolação dos dados, valores de locais que não foram amostrados. Além da precisão e/ou resolução de mapeamento desejado, outros fatores decisivos na escolha do tamanho da malha amostral são o custo e a disponibilidade de mão de obra, pois, quanto mais

pontos amostrais são inseridos na área, maior é a demanda de mão de obra e o custo. Com isso, há “dificuldade em se aliar o rigor geoestatístico com a viabilidade econômica e operacional para a caracterização da fertilidade do solo em escala comercial” (RESENDE & COELHO, 2017).

Existem alguns métodos e resultados de pesquisas para determinar qual o espaçamento máximo entre as amostras (GIMENEZ & ZANCANARO, 2012). A literatura indica que cada sistema de produção tem comportamento distinto, mas, considerando lavouras produtoras de grãos, a densidade mais utilizada para determinação de atributos químicos do solo oscila entre 2 amostras por hectare e 1 amostra a cada 2 hectares. A Figura 9 mostra mapas de diagnóstico de fertilidade gerados para a mesma lavoura com diferentes densidades de amostragem, desde 6 amostras por hectare até 1 amostra para 4 hectares, evidenciando o impacto da densidade amostral no mapa final interpolado. Na situação mostrada, há um aumento do erro com a redução da densidade amostral (GIMENEZ & ZANCANARO, 2012).

**Figura 9.** Mapas de fertilidade e de prescrição de calagem para uma mesma área, gerados com diversas densidades de amostragem.



Fonte: Gimenez e Zancanaro, 2012.

Considerando os fatores expostos, atualmente a maioria dos prestadores de serviços em AP no Brasil utiliza grades amostrais com quadrícula de tamanho entre 1 e 4 ha, ou seja, uma amostra a cada 1 a 4 ha (RESENDE & COELHO, 2017). Quadrículas de 5 ha ou mais não devem ser usadas, mesmo em regiões em que há menor variabilidade. Para densidades de uma amostra a cada 2, 3 ou 4 ha, deve-se aumentar o raio de coleta de subamostras ao redor do ponto central de amostragem e o número de subamostras coletadas, visando redução do erro (GIMENEZ & ZANCANARO, 2012). Em locais no Brasil central onde os pontos de amostragens são mais espaçados (menor densidade amostral), como de uma amostra a cada 4 ou 5 ha, há sugestão para utilização de amostragem em células, coletando-se maior número de subamostras espalhadas por toda a extensão da quadrícula (célula) (RESENDE & COELHO, 2017). Dessa forma, não se realiza interpolação dos dados e se elimina a possibilidade de uma amostra problemática prejudicar a elaboração do mapa, já que esse valor fica restrito a uma célula e não é associado às células vizinhas (RESENDE & COELHO, 2017).

No caso da amostragem em grade por ponto, determina-se um raio ao redor do ponto amostral dentro do qual deverão ser coletadas subamostras para compor a amostra composta e assegurar boa representatividade, sendo o mais comum a coleta de 5 a 10 subamostras (RESENDE & COELHO, 2017), embora se recomende que este número não seja inferior a 10 (RESENDE & COELHO, 2017; GIMENEZ & ZANCANARO, 2012). Na empresa AM Agricultura de Precisão, preconiza-se 10 subamostras, o que condiz com o mínimo recomendado pela literatura, porém, quando a quadrícula amostral for entre 2 a 3 ha, recomenda-se que se aumente o número de subamostras coletadas. Além disso, a empresa preconiza a realização de caminhamento circular ao redor do ponto amostral, para que as subamostras não sejam coletadas de forma alinhada, evitando erros sistemáticos causados pela amostragem na linha de semeadura da cultura anterior, a qual apresenta, normalmente, elevada concentração de nutrientes em função da adubação realizada (RESENDE & COELHO, 2017).

Na AM Agricultura de Precisão, é realizada a amostragem por pontos, com densidade de 1 amostra a cada 3 ha, ou seja, o tamanho da malha amostral é de 3 ha, um tamanho de quadrícula considerado elevado. Tendo em vista a literatura citada, sugere-se que seja reduzido o tamanho da malha amostral para, no mínimo, 2 ha, a fim de que haja maior dependência espacial entre os pontos, considerando a maior precisão dos dados obtidos e o custo de amostragem. Caso seja mantida a quadrícula de 3 ha, recomenda-se aumentar o raio de coleta ao redor do ponto amostral central e o número de subamostras, para redução de erros. Uma terceira alternativa é que se mantenha a quadrícula de 3 ha e se adote a

amostragem por células para reduzir erros e evitar a interpolação dos dados. Para aplicação desta terceira alternativa, a quantidade de subamostras deve ser aumentada e o caminhamento para a coleta destas subamostras deve ser realizado por toda a célula.

Quando se utiliza amostragem em grade por pontos, Gimenez e Zancanaro (2012) recomendam que, antes de realizar a amostragem em toda unidade produtiva, seja realizada uma amostragem detalhada em um talhão representativo da propriedade, numa densidade de 4 amostras.ha<sup>-1</sup> ou mais. Com isso, é possível avaliar qual é a densidade amostral que deve ser utilizada no restante da propriedade, a partir da elaboração de mapas com os mesmos resultados laboratoriais, mas com densidades distintas para a realização de análise e comparação dos mapas confeccionados. Resende e Coelho (2017) sugerem que, para início nas práticas de AP, sejam utilizadas grades amostrais mais densas, com quadrícula de 1 ha por exemplo, ou intercalar a utilização de quadrículas mais e menos densas. No entanto, a determinação da densidade amostral ideal para cada propriedade tem um custo elevado, tornando, na maioria das vezes, esta prática inviável. Ainda em relação aos custos, é válido ressaltar que os mapas de fertilidade podem ser utilizados por até três anos e que a amostragem georreferenciada deve resultar em maior eficiência do uso de fertilizantes e corretivos, reduzindo o custo destes insumos (RESENDE & COELHO, 2017). Portanto, pela inviabilidade de se determinar a densidade amostral ideal para cada propriedade, sugere-se que a empresa utilize tamanhos menores de quadrículas amostrais (1 ha) em propriedades que estão iniciando as práticas de AP, para que, neste primeiro contato da propriedade com a AP sejam realizados mapeamento e manejo mais detalhado.

A fim de aumentar a eficiência da amostragem de solo para caracterização de atributos químicos, há a opção de associar o uso de grades amostrais com uma caracterização preliminar dos talhões, possibilitando a subdivisão do talhão em áreas homogêneas, o que leva a um direcionamento de amostragem, principalmente quando os talhões são mais extensos (RESENDE & COELHO, 2017). Essas áreas homogêneas subdivididas podem ser amostradas e/ou manejadas separadamente, caso necessário, utilizando-se outros dados que também influenciam a fertilidade do solo e o potencial produtivo das culturas, como diferença de cobertura vegetal, relevo, drenagem, textura do solo e dados de sensoriamento remoto, por exemplo. Esses dados são relevantes, pois há diversos fatores condicionantes da produtividade de determinada área, sendo a fertilidade apenas um destes fatores. Esta é uma alternativa viável para a empresa, podendo trazer maior precisão na amostragem, sendo que a subdivisão dessas áreas pode ser realizada tanto pelo produtor quanto pelos colaboradores do setor de assistência técnica da empresa, no intuito de aumentar a eficiência e qualidade da amostragem



georreferenciada. Também podem ser realizadas amostragens direcionadas a partir do mapeamento de algum atributo de interesse, como, por exemplo, utilização de mapas de NDVI para a definição de áreas dentro da propriedade e/ou de um talhão onde serão realizadas amostragens.

Segundo Resende e Coelho (2017), outros fatores que devem ser definidos são a profundidade e o local de coleta, considerando características e/ou até mesmo o histórico do talhão. Por exemplo, quando é possível visualizar as linhas de semeadura do cultivo anterior, sugere-se coletar as subamostras apenas nas entrelinhas ou então determinar uma proporção de amostras coletadas nas linhas e nas entrelinhas. Na AM Agricultura de precisão, o local de coleta é conforme a recomendação, sendo as amostras coletadas sempre nas entrelinhas. Isso evita a ocorrência de *outliers*, os quais podem reduzir a qualidade do mapeamento. Em relação à profundidade, o mais comum é a utilização de 0 a 20 cm, porém, quando se deseja maior detalhamento do diagnóstico no perfil do solo, podem ser realizadas amostragens estratificadas, separando as profundidades em 0-10 cm, 10-20 cm e 20-40 cm, por exemplo.

Para elaboração das zonas de manejo ou unidades de gestão diferenciadas (UGDs), os principais fatores considerados para sua delimitação são atributos químicos do solo, mapas de rendimento e, mais recentemente, mapas de NDVI (DAMIAN, 2017). Imagens obtidas por meio de videografia aérea digital multiespectral podem ter relações significativas com a produtividade de grãos, além de proporcionar informações importantes para o delineamento de UGDs, sendo uma ferramenta eficiente para determinação das zonas de manejo em áreas com grande variabilidade espacial (ARAÚJO *et al.*, 2005). Por exemplo, Damian (2017) utilizou o NDVI obtido a partir de imagens de satélite para delimitação de zonas de manejo, o qual se apresentou como um bom parâmetro para delimitação de UGDs. Isso porque as UGDs delimitadas por meio do NDVI de imagens de satélite apresentam potencial semelhante em diferenciar zonas de alto e baixo potencial quando comparados com as UGDs geradas com os mapas de rendimento. Além disso, as UGDs delimitadas a partir de NDVI de séries temporais também são eficazes em diferenciar zonas com diferentes potenciais produtivos (DAMIAN, 2017). O dado que poderia ser utilizado com maior nível de confiança para definição das UGDs é a produtividade das culturas, porém são dados mais difíceis de serem obtidos, principalmente pela falta dos equipamentos e sensores embarcados em colhedoras nas propriedades. Resultados recentes de pesquisa indicam alta convergência entre as zonas de manejo delimitadas por meio de NDVI e os dados de produtividade (DAMIAN *et al.*, 2020). Sendo assim, a utilização de mapas de NDVI pode complementar ou substituir com eficiência

os dados de produtividade na delimitação de zonas de manejo em cultivos anuais. Isso é ainda mais relevante quando não há a possibilidade de se obter mapas de produtividade.

O uso do NDVI também é vantajoso no sentido de utilizar diretamente a planta como indicador, permitindo a avaliação do desenvolvimento e resposta da planta a determinadas práticas de manejo. O NDVI obtido através de imagens de satélite tem sido muito utilizado pela sua ampla relação com a produtividade das culturas, além de que as imagens de satélite atualmente possuem boa resolução espacial e temporal e são de custo mais acessível ou até sem custo, possibilitando sua utilização para o mapeamento de grandes áreas (DAMIAN *et al.*, 2020). Ainda há outras vantagens, como a possibilidade de se obter dados históricos, podendo utilizar imagens de safras passadas, e o benefício de o mapeamento aéreo não ser necessário. Com isso, podemos concluir que a utilização do NDVI como parâmetro para elaboração de zonas de manejo é uma estratégia adequada para a empresa.

Todavia, a utilização do NDVI tem algumas desvantagens, como a qualidade da imagem e o estágio fenológico da cultura. Para comparar NDVI de uma cultura em diferentes safras, é necessário que as imagens de satélite sejam capturadas quando a cultura apresenta o mesmo estágio fenológico, além de escolher imagens com boa visualização da área de interesse, sem a presença de nuvens, por exemplo, e preferencialmente de um satélite com alta resolução espacial e temporal. Sendo assim, recomenda-se fazer a análise do NDVI juntamente com outros mapas e informações, como mapas de compactação e/ou de atributos químicos do solo.

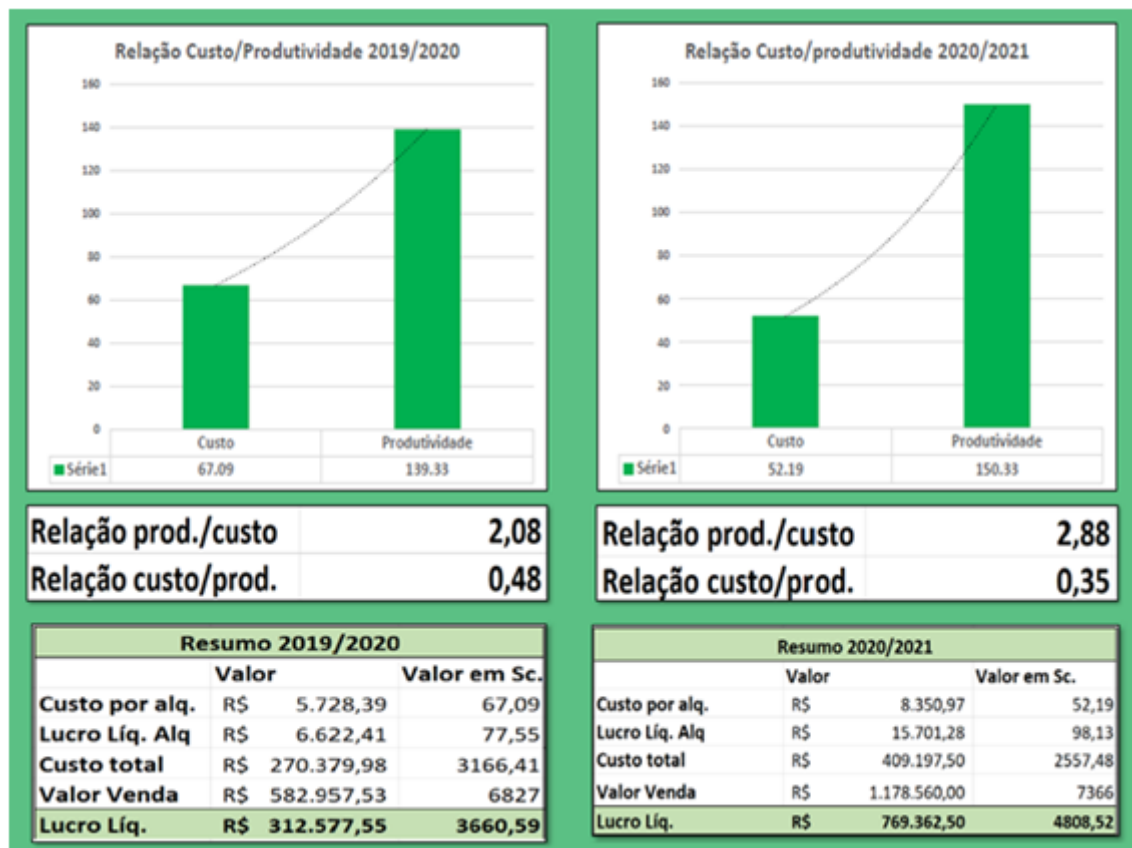
Acerca da relação entre custos e benefícios da adoção da AP, existem poucas informações disponíveis, mas todas indicam uma relação favorável para a adoção das ferramentas (FIORIN *et al.*, 2018). Em comparação ao manejo convencional, as lavouras manejadas com AP apresentam produtividades superiores, variando de 3,1 a 10 sacas.ha<sup>-1</sup> a mais na cultura da soja e próximo a 25 sacas.ha<sup>-1</sup> a mais na cultura do milho (FIORIN *et al.*, 2018). Em relação ao custo operacional, ocorre uma variação conforme a situação da fertilidade e variabilidade espacial de cada lavoura; nos casos onde a fertilidade da área já se encontra adequada, há uma redução dos custos operacionais em relação ao manejo convencional, enquanto que, em áreas onde é necessário construir a fertilidade do solo, este custo é mais elevado em um sistema com AP. Em todas as situações estudadas, as lavouras manejadas com AP apresentaram saldos operacionais superiores, com um retorno econômico positivo, variando de 9,2% a 13,7%.

Trabalho de Posada (2016) indica a viabilidade econômica da aplicação de fertilizantes em taxa variável, comparando-a com a aplicação em taxa fixa (uniforme). Foram observados

lucros de até R\$ 1.708,00.ha<sup>-1</sup> para a cultura do café e até R\$ 1.031,00.ha<sup>-1</sup> para a cultura da laranja, em comparação à aplicação em taxa fixa. Resultados obtidos por Cherubin *et al.* (2011) também mostram que a aplicação em taxa variável permite a racionalização do uso de fertilizantes e corretivos, com aplicação de doses adequadas para cada ponto da lavoura, evitando falta ou excesso dos nutrientes, minimizando efeitos de sub e superdoses de insumos, além de reduzir o impacto do sistema ao meio ambiente. Com isso, verifica-se aumento de produtividade das culturas, maior qualidade da água e maior lucro líquido da unidade de produção, sendo a aplicação em taxa variável uma ferramenta economicamente viável para lavouras comerciais.

Entre as propriedades atendidas pela AM Agricultura de Precisão, foi selecionado um *case* de sucesso, de uma propriedade localizada em Tamarana (PR), com o intuito de explicar os benefícios obtidos com a utilização de AP. No ano de 2020, foram realizados os seguintes serviços: amostragem de solo georreferenciada, projeto conservacionista (terraceamento) e projeto de plantio, sendo esse último a ser executado no ano de 2021. No período anterior ao plantio da soja no ano de 2020, foi realizada correção em taxa variável de calcário calcítico e de óxido de cálcio e adubação em taxa variável com cloreto de potássio e superfosfato simples. Trazendo o comparativo de custos e produtividades obtidas nas safras de 2019/2020 e 2020/2021 em um dos talhões da propriedade, observa-se que as práticas realizadas com a empresa aumentaram a produtividade de 139,33 sc.alq<sup>-1</sup> (57,57 sc.ha<sup>-1</sup>) para 150 sc.alq<sup>-1</sup> (61,98 sc.ha<sup>-1</sup>), e resultaram em um acréscimo de R\$ 9.078,87.alq<sup>-1</sup> no lucro líquido (R\$ 3.751,59.ha<sup>-1</sup>). A Figura 10 apresenta o comparativo dos custos deste talhão nas diferentes safras, mostrando também as relações produtividade/custo e custo/produtividade.

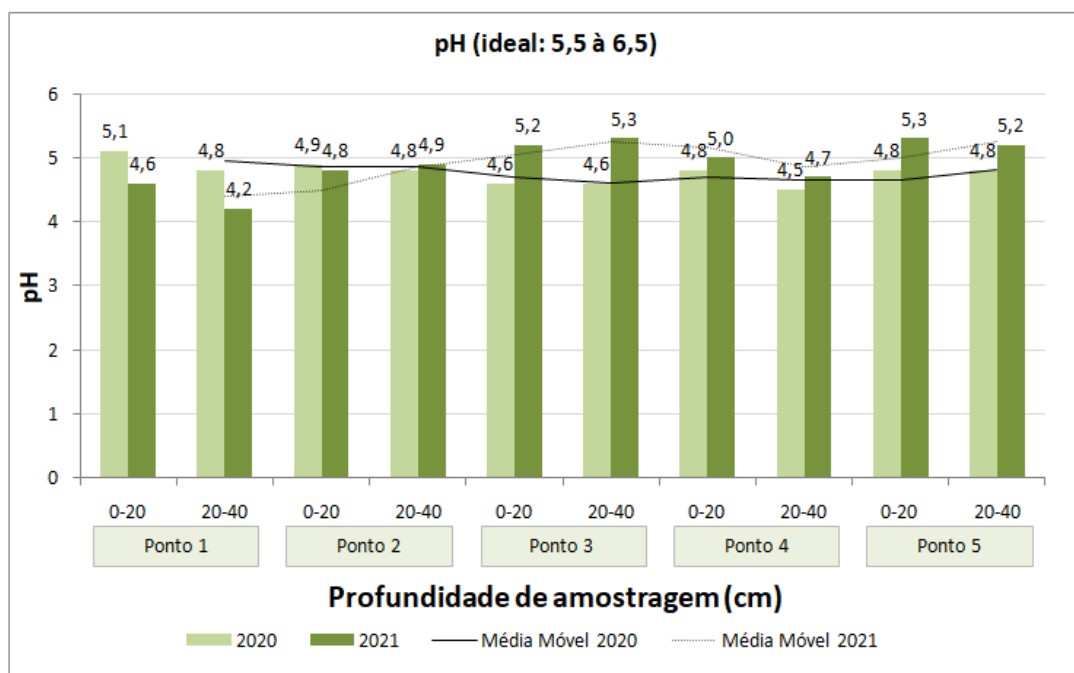
**Figura 10.** Comparativo de produtividade, custos e lucro obtidos pela fazenda nas safras de 2019/2020 e 2020/2021.



Fonte: AM Agricultura de Precisão, 2021.

Em outra propriedade, localizada em Congonhas (PR), foram realizados serviços em 2020 e 2021. No ano de 2020, foram realizadas amostragens georreferenciadas de solo nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm e adubação em taxa variável. Em 2021, a amostragem foi realizada a partir de zonas de manejo, definidas a partir de mapas de NDVI da área de anos anteriores, e mapa de altimetria. Foram elaborados gráficos de um talhão, comparando alguns atributos químicos do solo nos anos de 2020 e 2021. Os atributos utilizados para a comparação foram pH (Figura 11), Al, Ca, Mg, S, K%, CTC e V%, que apresentaram, na maioria dos pontos, melhora nos níveis, ficando mais próximos dos valores considerados ideais.

**Figura 11.** Comparativo do valor de pH entre 2020 e 2021.



Fonte: AM Agricultura de Precisão, 2021, adaptado.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista todos os fatores abordados, conclui-se que a agricultura de precisão possui diversas ferramentas viáveis às unidades produtivas comerciais e com grandes chances de serem adotadas, trazendo diversos benefícios para o sistema, além de impactar positivamente na produtividade, no lucro da propriedade, na sustentabilidade do sistema e na segurança alimentar. Para o sucesso da AP, a assistência técnica e o acompanhamento de profissionais capacitados na área são fundamentais. A AP deve ser empregada com cuidado e executada por profissionais e empresas qualificados, ressaltando a importância da assistência técnica para o alcance dos resultados visados. Além disso, a prática da agricultura de precisão deve ser alicerçada em manejos adequados, ou seja, a “agronomia básica” deve ser bem conduzida, para que todos os fatores condicionantes da produção possibilitem a expressão do rendimento potencial da cultura. Apenas a incorporação de tecnologia por si só não surtirá os efeitos esperados ou, pelo menos, não todos os desejados, tornando necessária a aplicação de conhecimentos agrônômicos sobre o sistema para que este alcance os resultados desejados, reforçando a relevância de acompanhamento e conhecimento técnicos adequados. O manejo do solo com a AP deve ser realizado de forma a monitorar os talhões, realizando ajustes ao

longo do tempo, utilizando não apenas amostragens periódicas de solo, mas toda ferramenta que agregue e permita detalhar informações sobre a variabilidade espacial e temporal do solo e das plantas nas áreas de cultivo (RESENDE & COELHO, 2017). A necessidade de aumento de produção, redução do impacto ambiental do sistema e melhoria da segurança alimentar são os fatores que impulsionam a utilização da AP.

Considerando o grande potencial e avanço da AP e a possibilidade de poder ser aplicada em diversos setores da agricultura, considera-se que o estágio curricular obrigatório realizado com esta temática foi de suma importância. O estágio é uma atividade de extrema relevância no curso, tendo papel fundamental na formação acadêmica, ainda que ocorra em um curto período de tempo. A realização do estágio teve como objetivo aprofundar os conhecimentos na aplicação de tecnologias na agricultura e consolidar conteúdos abordados na graduação. Sendo assim, o aprendizado proporcionado foi importante para a consolidação dos conteúdos abordados em aula, além da relevância em vivenciar a rotina de uma empresa agrícola e também o conhecimento de outro estado, com perfil agropecuário distinto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, V. R. de. **Geografia do Paraná**. [S. l. : S. n.]: [2010-2019]. AMF Pré-vestibular. 39 p. Disponível em: <<https://geovest.files.wordpress.com/2012/09/parana.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

ARAÚJO, J. C. de *et al.* Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, PR, v. 27, n. 3, p. 437-447, jul./set. 2005. Disponível em <<http://www.ler.esalq.usp.br/molin/estimativa.pdf>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

BERNARDI, A. C. de C. *et al.* **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. Disponível em <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1002959/agricultura-de-precisao-resultados-de-um-novo-olhar>>. Acesso em: 05 jul. 2021.

BERNARDI, A. C. de C. *et al.* **Ferramentas de Agricultura de Precisão como auxílio ao manejo da fertilidade do solo**. Brasília, v. 32, n. 1/2, p. 211-227, jan./ago. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1064655/ferramentas-de-agricultura-de-precisao-como-auxilio-ao-manejo-da-fertilidade-do-solo>>. Acesso em: 02 ago. 2021.

BOLFE, É. L. *et al.* Precision and Digital Agriculture: Adoption of Technologies and Perceptions of Brazilian Farmers. **Journal Agriculture**. [S.l.], v. 10, n. 12, p. 653, 2020.

Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219508/1/AP-Precision-digital-agriculture-2020.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Índice de Desenvolvimento Humano: Paraná.** 2010. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pesquisa/37/30255>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

BRASIL. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População estimada: Paraná.** 2021. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/panorama>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Agricultura de Precisão.** 3 ed. Brasília: Mapa/ACS, 36 p., 2013. (Boletim Técnico). Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1/arquivos-de-agricultura-de-precisao/boletim-tecnico-agricultura-de-precisao-2013.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2021.

CHERUBIN, M. R. *et al.* Demonstração da viabilidade técnica e econômica da utilização de taxa variável em área manejada com Agricultura de Precisão. **Enciclopédia Biosfera.** Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-10, mai. 2011. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2011a/agrarias/Demonstracao%20da%20viabilidade.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2021.

COELHO, A. M. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas.** Sete Lagoas/MG: Embrapa Milho e Sorgo, 2005. Disponível em <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/489734/agricultura-de-precisao-manejo-da-variabilidade-espacial-e-temporal-dos-solos-e-culturas>>. Acesso em: 05 jul. 2021.

CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROINFORMÁTICA, 10. DUTRA, E. P.; GUIMARÃES, A. M. Uso de VANTs na agricultura – obtenção e tratamento de dados. [Ponta Grossa, PR], 2015. **Anais eletrônicos do X Congresso Brasileiro de Agroinformática.** SBIAgro, 2015. Disponível em: <[http://eventos.uepg.br/sbiagro/2015/anais/SBIAgro2015/pdf\\_resumos/6/6\\_elton\\_pankio\\_dutra\\_188.pdf](http://eventos.uepg.br/sbiagro/2015/anais/SBIAgro2015/pdf_resumos/6/6_elton_pankio_dutra_188.pdf)>. Acesso em: 15 jul. 2021.

DAMIAN, J. M. **Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para definição de zonas de manejo e monitoramento da variabilidade da sucessão aveia preta/soja.** 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsm.br/handle/1/11313>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

DAMIAN, J. M., *et al.* Applying the NDVI from satellite images in delimiting management zones for annual crops. **ScientiaAgricola**, Piracicaba, SP, n. 1, v. 77, p. 1-11, 2020. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/002962927>>. Acesso em: 10 ago. 2021.

DRONE VISUAL. **AgisoftMetashape – mapeamento aéreo com drones.** 6 nov. 2019. Disponível em: <<https://www.dronevisual.com/post/2019/11/06/agisoft-metashape-mapeamento-com-drones>>. Acesso em: 06 jul. de 2021.

FIORIN, J. E. *et al.* **Viabilidade técnica e econômica da agricultura de precisão no sistema cooperativo do Rio Grande do Sul.** 03 ago. 2018. Disponível em: <<https://maissoja.com.br/viabilidade-tecnica-e-economica-da-agricultura-de-precisao-no-sistema-cooperativo-do-rio-grande-do-sul/>>. Acesso em: 11 ago. 2021.

FRANCHINI, J. C. *et al.* **Variabilidade espacial e temporal da produção de soja no Paraná e definição de ambientes de produção.** Londrina, PR: Embrapa Soja, 2016. 42 p. (Documentos, n. 374). Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1052786/variabilidade-espacial-e-temporal-da-producao-de-soja-no-parana-e-definicao-de-ambientes-de-producao>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

GIMENEZ, L. M.; ZANCANARO, L. Monitoramento da fertilidade de solo com a técnica da amostragem em grade. **Jornal Informações Agrônomicas.** jun. 2012, nº 138. Disponível em: <[http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/99F3F60DC307E31985257A84005CB8F6/\\$FILE/Jornal19-25-138.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-brasil.nsf/0/99F3F60DC307E31985257A84005CB8F6/$FILE/Jornal19-25-138.pdf)>. Acesso em: 28 jun. 2021.

HAURESKO, C.; THÉRY, H. **Espacialização e dinâmicas contemporâneas da agropecuária paranaense.** Revista Franco-Brasileira de Geografia, n. 33, 2017. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confins/12690>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

INCERES. **InCeres escolhida pela OCP Group, para o Intensive Connection da AgTech Garage.** [Piracicaba, SP], 25 jun. 2020. Disponível em: <<https://inceres.com.br/13414-2/>>. Acesso em: 06 jul. de 2021.

LIMA, V. C. *et al.* **Conhecendo os principais solos do Paraná: abordagem para professores do ensino fundamental e médio.** Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Estadual Paraná: Curitiba, PR, 2012. 18 p. Disponível em: <[http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/janeiro2013/geografia\\_artigos/cartilha\\_a\\_principais\\_solos\\_parana\\_Final.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/janeiro2013/geografia_artigos/cartilha_a_principais_solos_parana_Final.pdf)>. Acesso em: 23 jun. de 2021.

MARCORI, S. J. **Geografia em escala local: Um estudo de caso do município de Londrina.** Material didático desenvolvido através do curso Programa de Desenvolvimento Educacional (PDE). Londrina, PR, 2008. 168 p. Disponível em: <<https://www.coursehero.com/file/60803894/md-sandra-juraci-marcoripdf/>>. Acesso em: 30 jun. 2021.

MARCUSSI, A. B. *et al.* Utilização de índices de vegetação para os sistemas de informação geográfica. **Revista Caminhos de Geografia**, Uberlândia, MG, v. 11, n. 35, p. 41-53, set. 2010. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/16000/9020>>. Acesso em: 15 jul. 2021.

MELLO, Y. R. de; SAMPAIO, T. V. M. Análise geoestatística da precipitação média para o estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 25, p.643 - 660, jul./dez. 2019. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/64468/39738>>. Acesso em: 23 jun. 2021.



MENEGUETTE, Á. Caderno especial: Agropecuária - Paraná. **Agroanalysis**, v. 35, n. 4, p. 30–41, abr. 2015. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/agroanalysis/issue/view/2933/903>>. Acesso em: 25 jun. 2020.

MOLIN, J. P. Agricultura de Precisão: Números do Mercado Brasileiro. **Agricultura de Precisão**. São Paulo, abr. 2017. Boletim Técnico 03. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1/arquivos-de-agricultura-de-precisao/20171104BoletimTecnico03NdoMercadoBR.pdf>>. Acesso em: 16 jul. 2021.

MOLIN, J. P. *et al.* **Agricultura de precisão**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015. 223 p. Disponível em: <<https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/precisao/livros/AGRICULTURA%20DE%20PRECISAO%20-%20OFICINA%20DE%20TEXTOS.pdf>>. Acesso em: 05 jul. 2021.

NITSCHKE, P. R. *et al.* **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina, PR: Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), 2019. 210 p. Disponível em: <<http://www.idrparana.pr.gov.br/system/files/publico/agrometeorologia/atlas-climatico/atlas-climatico-do-parana-2019.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

PARANÁ. INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG). **Clima – estado do Paraná**. 2008a. 1 mapa. Escala 1:2.000.000. Disponível em: <[http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/mapa\\_climas\\_a3.pdf](http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mapa_climas_a3.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2021.

PARANÁ. INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS (ITCG). **Solos – estado do Paraná**. 2008b. 1 mapa. Escala 1:2.000.000. Disponível em: <[http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-07/mapa\\_solos.pdf](http://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mapa_solos.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2021.

PARANÁ. INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Agronegócio é responsável por 33,9% do PIB paranaense**. 20 mar. 2020. Disponível em <<http://www.ipardes.pr.gov.br/Noticia/Agronegocio-e-responsavel-por-339-do-PIB-paranaense>>. Acesso em 23 jun. de 2021.

PARANÁ. INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (IPARDES). **Paraná em números**. 19 set. 2019. Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/Pagina/Parana-em-Numeros>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

PARANÁ. SECRETARIA DA FAZENDA DO PARANÁ (SEFAZ PR). **Boletim econômico: Março 2020 – Especial COVID-19**. [Curitiba, PR]: [2020]. Disponível em: <[http://www.fazenda.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-06/boletim202003.pdf](http://www.fazenda.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-06/boletim202003.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2021.

PARANÁ. SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO; DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL (SEAB/DERAL). **Números da pecuária paranaense**. 20 set. 2019. 7 p. Disponível em: <<http://www.agricultura.pr.gov.br/system/files/publico/Conjuntura/nppr.pdf>>. Acesso em 23 Jun de 2021. Acesso em: 23 jun. 2021.

PIRES, J. L. F. *et al.* **Discutindo agricultura de precisão: aspectos gerais**. Passo Fundo, RS: Embrapa Trigo, dez. 2004. 18 p. (Documentos Online; 42). Disponível em: <[http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p\\_do42.htm](http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/do/p_do42.htm)>. Acesso em: 15 jul. 2021.

POSADA, L. V. **Viabilidade energética e econômica da aplicação de fertilizantes em taxa variável**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2016. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-30092016-152142/publico/Leonardo\\_Vargas\\_Posada\\_versao\\_revisada.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-30092016-152142/publico/Leonardo_Vargas_Posada_versao_revisada.pdf)>. Acesso em: 11 ago. 2021.

RESENDE, Á. V.; COELHO, A. M. Amostragem para mapeamento e manejo da fertilidade do solo na abordagem de agricultura de precisão. **Jornal Informações Agronômicas**. Piracicaba, SP, set. 2017, nº 159. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1081571/amostragem-para-mapeamento-e-manejo-da-fertilidade-do-solo-na-abordagem-de-agricultura-de-precisao>>. Acesso em: 28 jun. 2021.

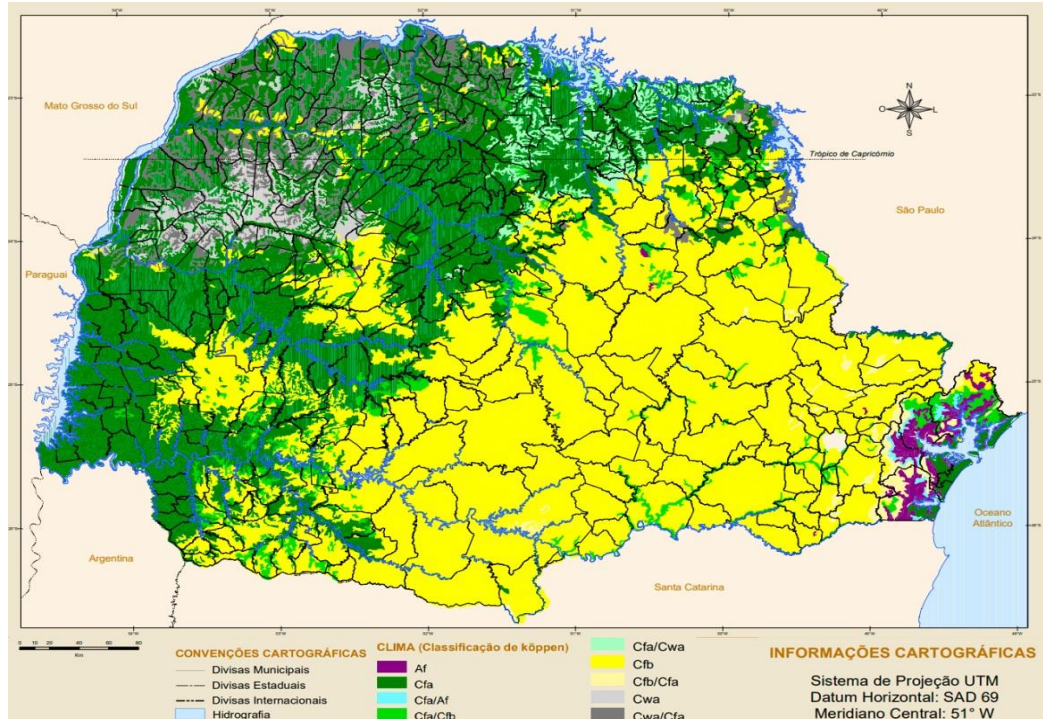
SANTO JÚNIOR, C. do E. **Atlas do Paraná: O uso de novas tecnologias**. Secretaria do Estado da Educação do Paraná (SEED/PR) – Programa de Desenvolvimento Educacional (PDE). [Paraná]: 2008. 38 p. Disponível em: <[http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos\\_teses/2011/geografia/artigos/atlas\\_parana.pdf](http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2011/geografia/artigos/atlas_parana.pdf)>. Acesso em: 23 jun. 2021.

SANTOS, L. J. C. *et al.* **Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná**. [Paraná], Revista Brasileira de Geomorfologia, Ano 7, n. 2, p. 3-12, 2006. Disponível em: <<http://lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/74/67>>. Acesso em: 23 jun. 2021.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL (SENAR). **Agricultura de precisão: conceitos**. Brasília: Senar, 2019. 28 p. (Coleção Senar, 244). Disponível em: <[https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/244\\_AP\\_Agricultura-de-precisao-para-todos.pdf](https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/244_AP_Agricultura-de-precisao-para-todos.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2021.

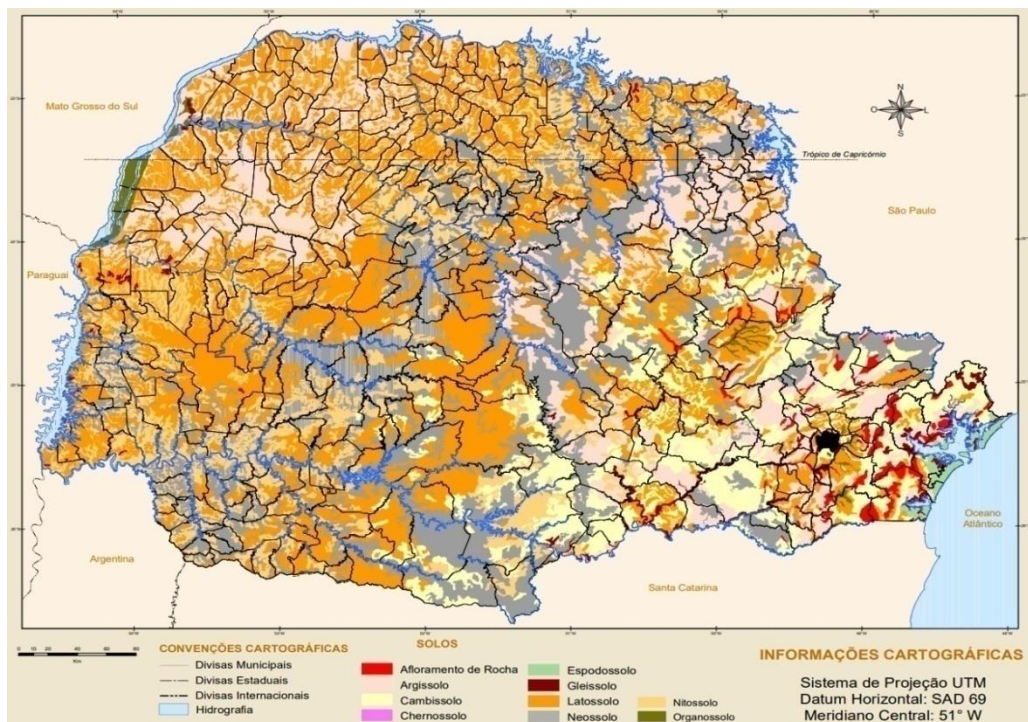
## ANEXOS

### ANEXO A - Classificação climática do Paraná conforme a classificação de Köppen e Geiger (1928).



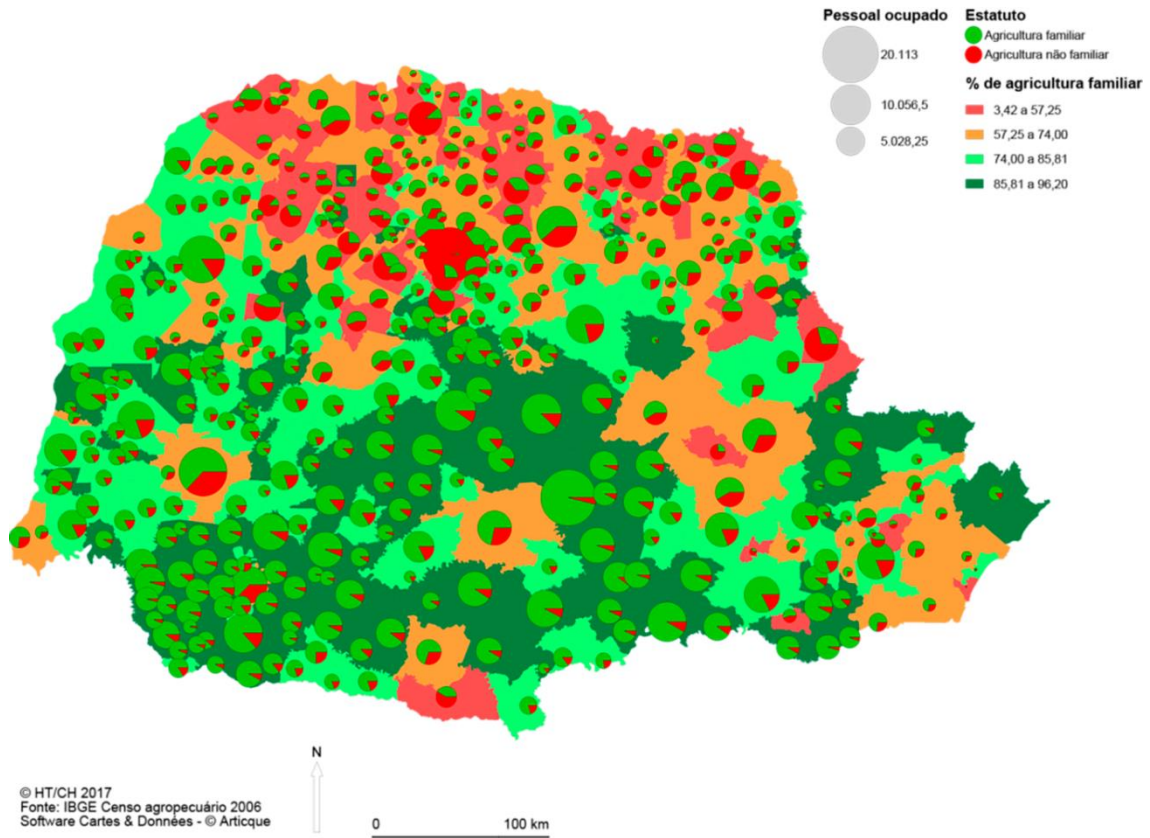
Fonte: ITCG, 2008a, adaptado.

### ANEXO B – Mapa de solos encontrados no Paraná.



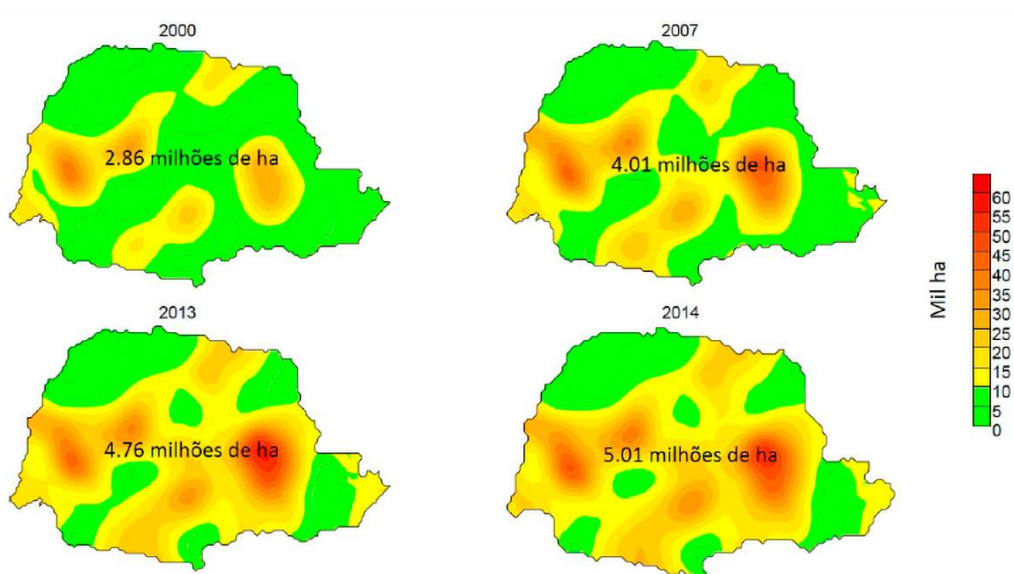
Fonte: ITCG, 2008b, adaptado.

ANEXO C - Área e porcentagem dos estabelecimentos com menos de 20 e mais de 100 hectares no estado do PR.



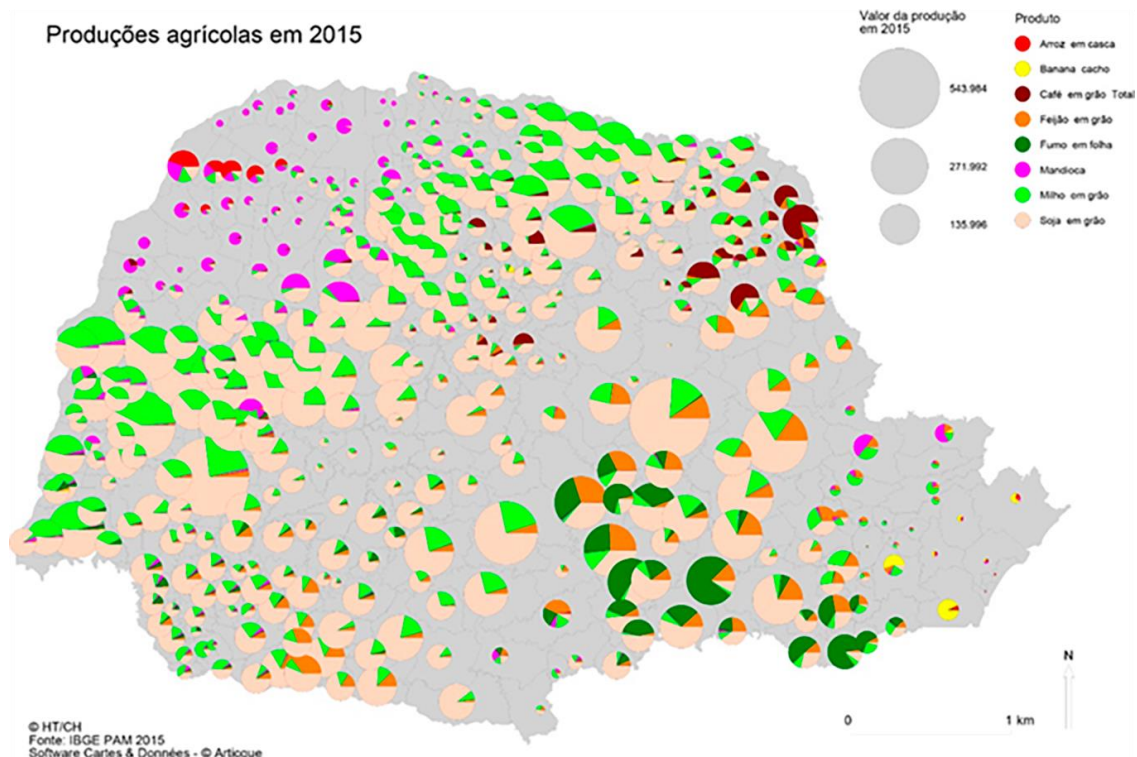
Fonte: Hauresko e Théry, 2017.

ANEXO D - Concentração da área com produção de soja no Paraná, em hectares por município, nas safras 1999/2000, 2006/2007, 2012/2013 e 2013/2014.



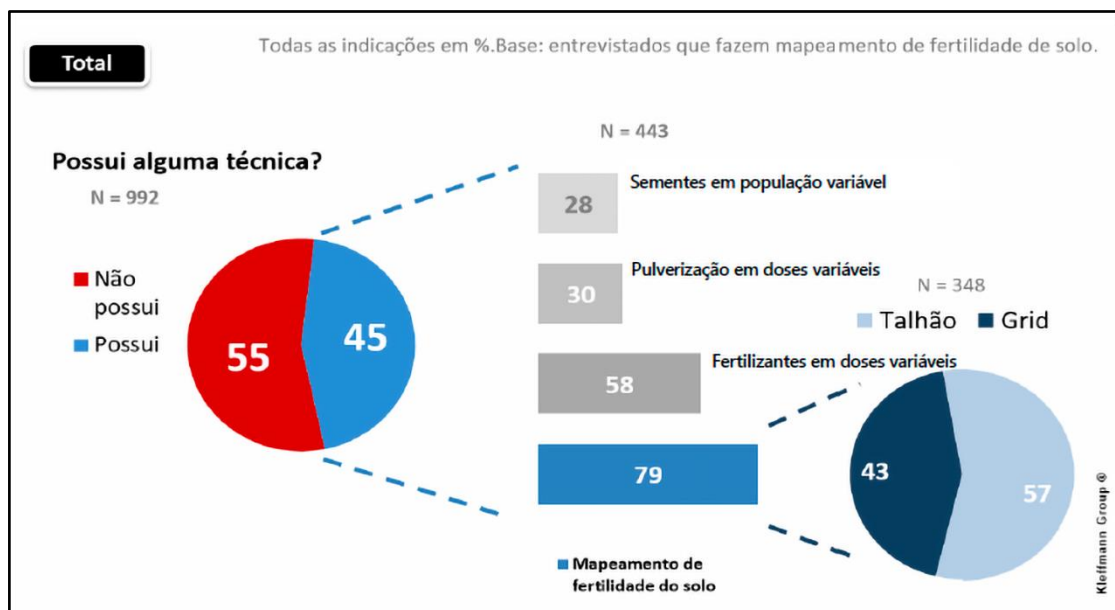
Fonte: Franchini *et al*, 2016.

ANEXO E - Principais produções agrícolas do estado do Paraná e os valores de produção no ano de 2015.



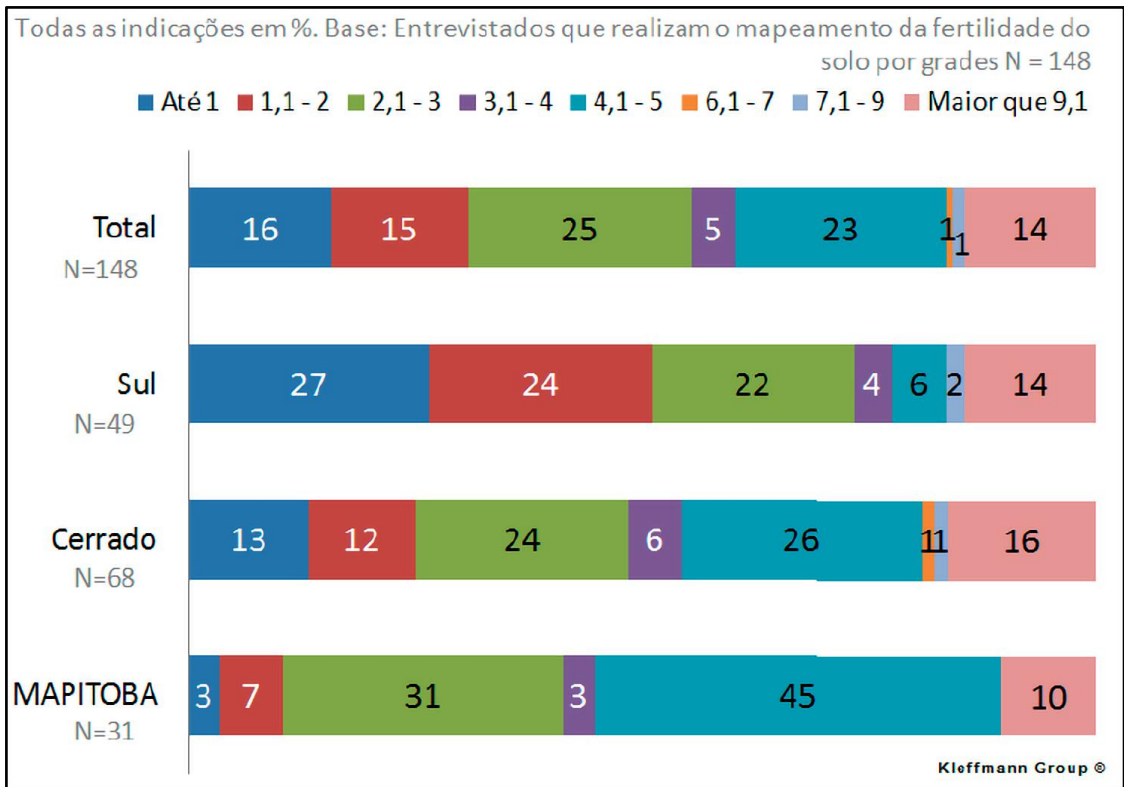
Fonte: Hauresko e Théry, 2017.

ANEXO F - Nível de adoção de técnicas de Agricultura de Precisão relacionadas com a variabilidade espacial das lavouras e de amostragem de solo em grade.



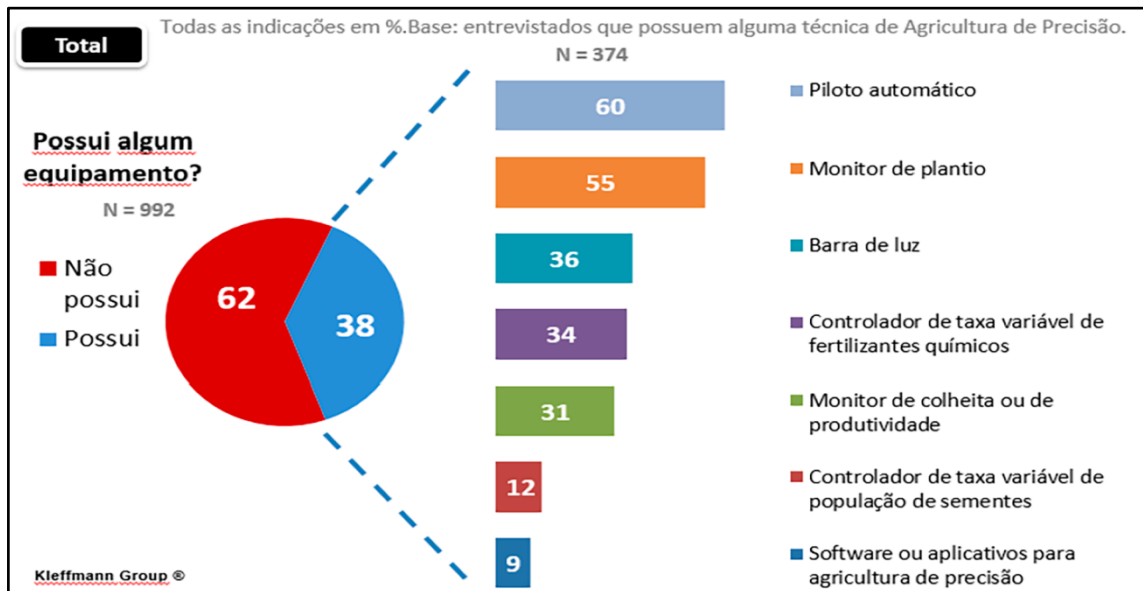
Fonte: Molin, 2017.

ANEXO G - Tamanho das grades amostrais, em hectares, praticadas em cada região.



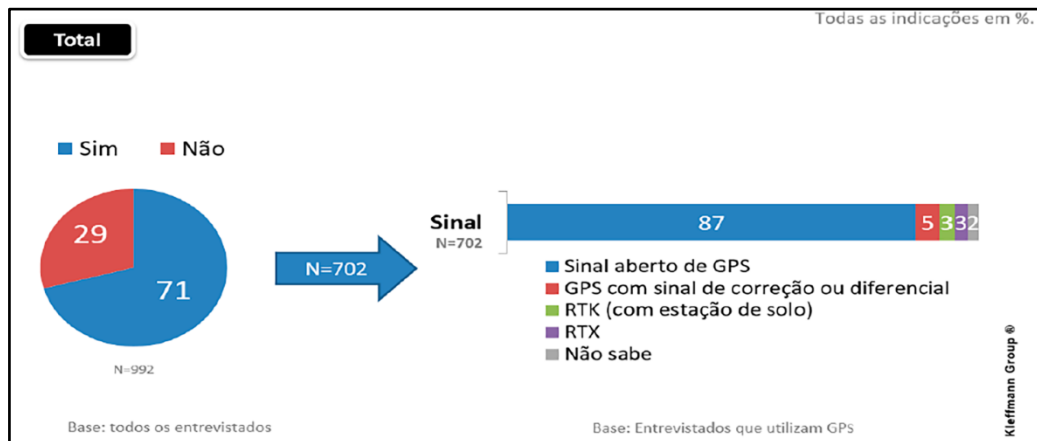
Fonte: Molin, 2017.

ANEXO H - Frequência de adoção de tecnologias para o monitoramento das operações e de automação das máquinas.



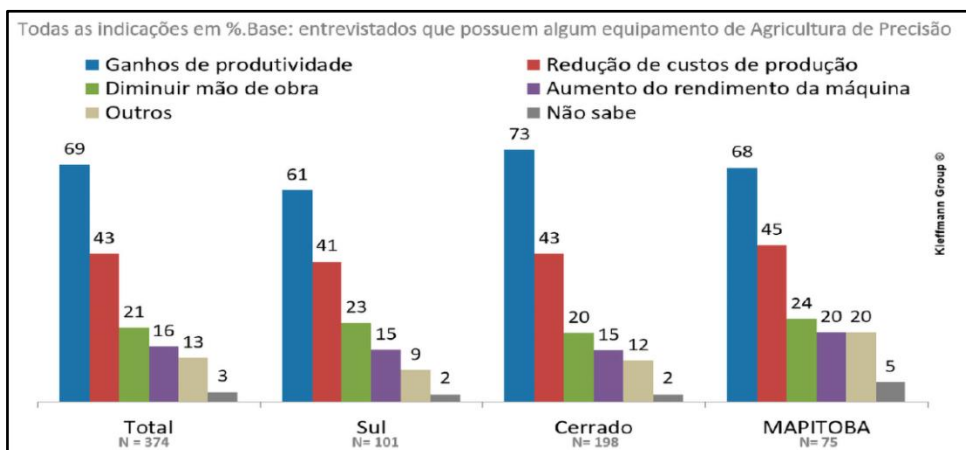
Fonte: Molin, 2017.

ANEXO I- Tipos de sinal GNSS utilizados.



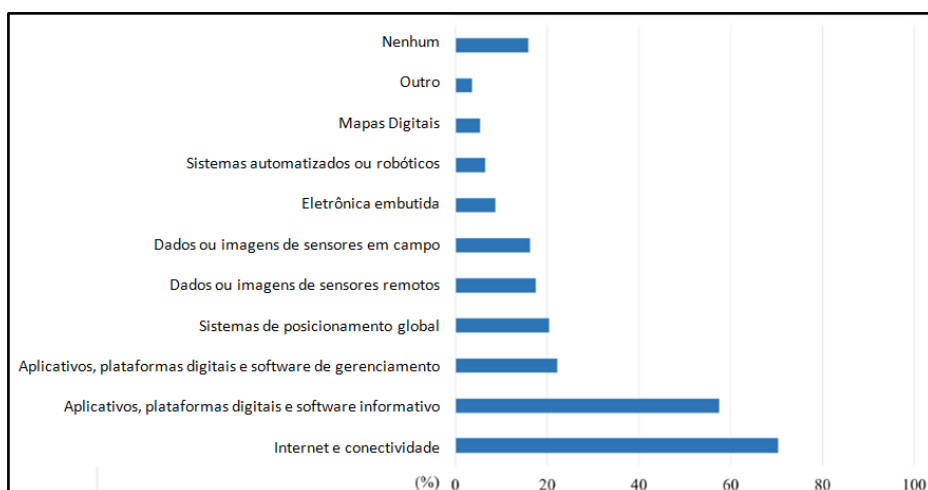
Fonte: Molin, 2017.

ANEXO J – Razões pessoais para o uso de técnicas e tecnologias de AP.



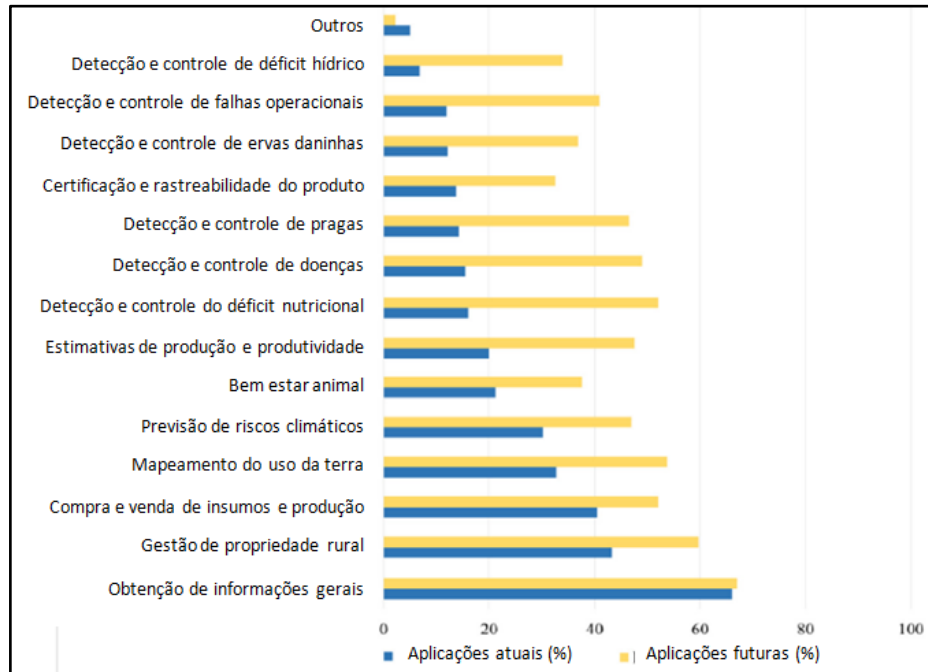
Fonte: Molin, 2017.

ANEXO K – Tecnologias de agricultura digital e de precisão utilizadas pelos agricultores.



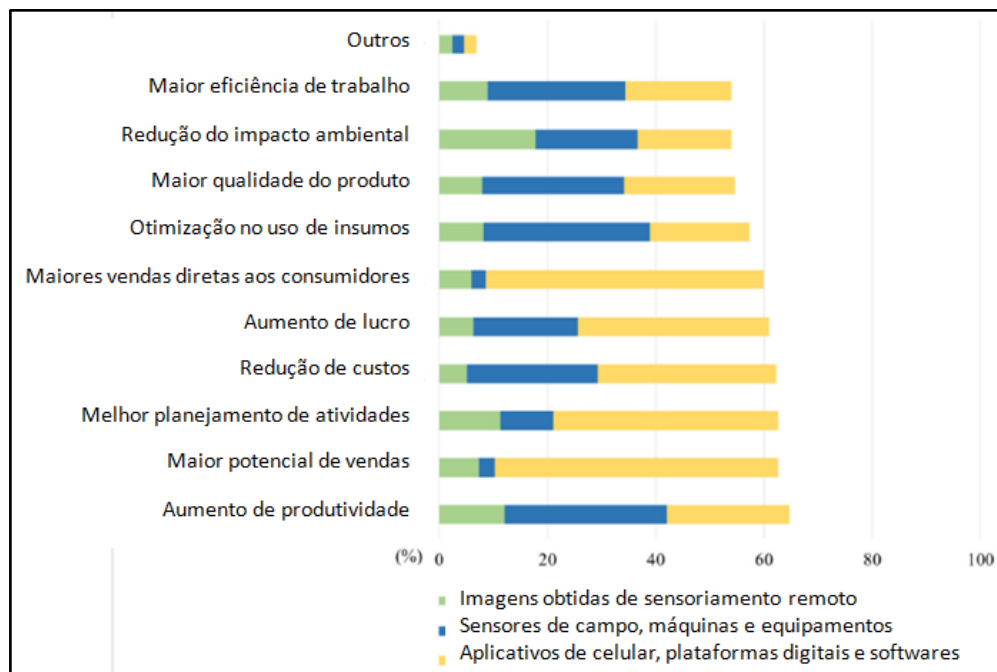
Fonte: Bolfe et al., 2020.

ANEXO L – Aplicações em agricultura digital e de precisão realizadas atualmente pelos produtores, e as que pretendem adotar futuramente.



Fonte: Bolfe *et al.*, 2020.

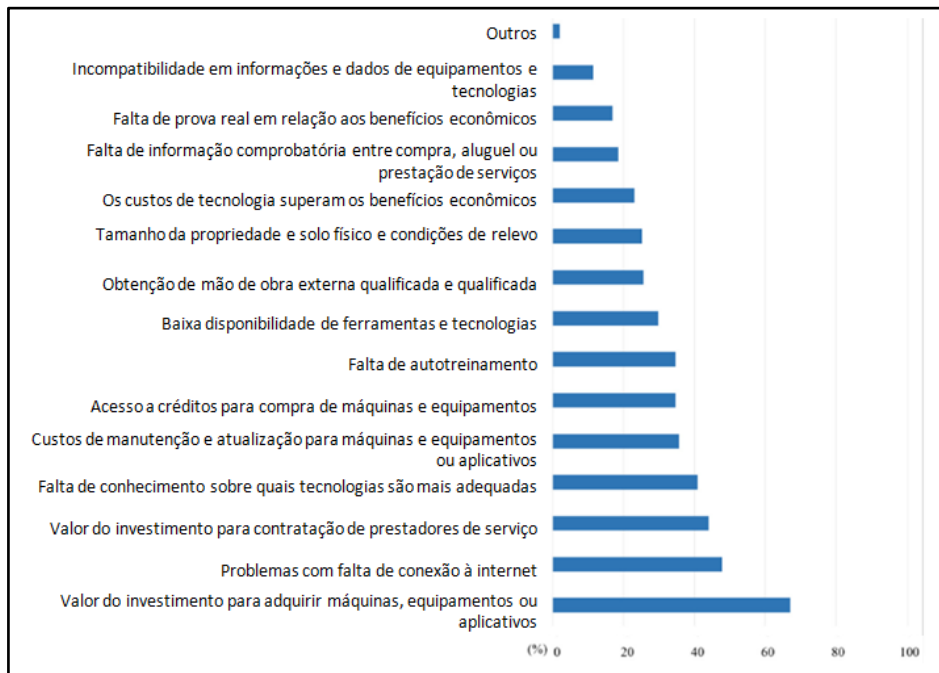
ANEXO M – Percepções do agricultor sobre as vantagens obtidas pela adoção da agricultura digital e de precisão.



Fonte: Bolfe *et al.*, 2020.



ANEXO N – Dificuldades e desafios enfrentados pelos agricultores para expandir e fortalecer o uso de agricultura digital e de precisão.



Fonte: Bolfe *et al.*, 2020.