

ALINE KURAMOTO GONÇALVES

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS FÍSICOS
E QUÍMICOS PARA FERTILIDADE DO SOLO DA FAZENDA EXPERIMENTAL
LAGEADO, BOTUCATU- SP**

Botucatu

2019

ALINE KURAMOTO GONÇALVES

**SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS FÍSICOS
E QUÍMICOS PARA FERTILIDADE DO SOLO DA FAZENDA EXPERIMENTAL
LAGEADO, BOTUCATU-SP**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutora em Agronomia (Energia na Agricultura).

Orientador: Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros

Coorientador: Prof. Dr. Diego Augusto de Campos Moraes

Botucatu

2019

G635s

Gonçalves, Aline Kuramoto

Sensoriamento remoto para estimativa dos parâmetros físicos e químicos para fertilidade do solo da Fazenda Experimental Lageado, Botucatu/SP / Aline Kuramoto Gonçalves. -- Botucatu, 2019
63 p.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientadora: Zacarias Xavier de Barros

Coorientadora: Diego Augusto de Campos Moraes

1. Bandas Espectrais do Visível. 2. Amostras de Solo. 3. Vant. 4.
Regressão Linear. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS PARA FERTILIDADE DO SOLO DA FAZENDA EXPERIMENTAL LAGEADO, BOTUCATU/SP

AUTORA: ALINE KURAMOTO GONÇALVES
ORIENTADOR: ZACARIAS XAVIER DE BARROS
COORIENTADOR: DIEGO AUGUSTO DE CAMPOS MORAES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Diego Moraes
Prof. Dr. DIEGO AUGUSTO DE CAMPOS MORAES
Análise e Desenvolvimento de Sistemas / Faculdade Educativa de Avaré

Bruna Soares Xavier de Barros
Prof.ª Dr.ª BRUNA SOARES XAVIER DE BARROS
/ Unifesp - Centro Universitário Sudoeste Paulista

Yara Manfrin Garcia
Dr.ª YARA MANFRIN GARCIA
Bauru/SP /

Tania Maria de Carvalho
Prof.ª Dr.ª TANIA MARIA DE CARVALHO
Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais / Universidade Federal de Mato Grosso

Rafael Calore Nardini
Prof. Dr. RAFAEL CALORE NARDINI
Geociências / Universidade Estadual de Londrina

Botucatu, 29 de novembro de 2019

Aos meus pais e ao meu irmão,
A vocês, dedico!

ARADECIMENTOS

A Deus por ter me dado discernimento e fôlego durante essa caminhada.

Aos meus pais, por toda paciência e dedicação ao longo dos meus estudos e aos meus amigos de anos de São José a Prudente, obrigada por todas as mensagens e apoio de carinho.

Ao Prof. Dr. Zacarias Xavier de Barros, meu orientador durante toda a minha jornada na pós-graduação pelos ensinamento e confiança.

Ao Prof. Dr. Diego Augusto de Campos Moraes, por ter aceitado a co-orientação e contribuído com o trabalho.

A todos os membros da banca de qualificação e defesa, meus sinceros: Muito Obrigada!

A Professora Dr^a Izabel Cristina Takitane, meus agradecimentos por toda ajuda.

À Faculdade de Ciências Agronômicas- UNESP- Campus de Botucatu.
Aos docentes responsáveis pelas disciplinas de pós-graduação e todos os funcionários dos departamentos de Engenharia Rural e Ciência dos solos.

Aos amigos da graduação e pós-graduação.

Aos membros do Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas (GEPAG), por todo o aprendizado.

A Capes pela concessão da bolsa de estudos, sem a qual, não seria possível a realização do doutorado.

A todos aqueles que direta e indiretamente acreditaram no meu trabalho e me deram apoio para que os resultados finais fossem feitos.

Muito Obrigada

RESUMO

O uso de ferramentas computacionais e da tecnologia desenvolvida por ferramentas do sensoriamento remoto para o mapeamento e estimação da fertilidade do solo são importantes para o desenvolvimento de áreas com práticas agrícolas. O emprego da técnica por meio da análise espacial pode proporcionar melhorias no manejo do solo. O objetivo deste trabalho foi estimar a fertilidade dos solos da Fazenda Experimental Lageado que pertence a Faculdade de Ciências Agronômicas- UNESP, localizada na cidade de Botucatu/São Paulo através dos atributos do solo e as bandas espectrais do vermelho, verde e azul do Vant (Veículo Aéreo Não Tripulado) e do satélite LandSat- 8. Neste contexto, o atributo do solo é essencial para entendermos a sua fertilidade. Foi utilizado um conjunto de amostras de solos com 52 amostras para correlacionar com as respostas espectrais dos solos nos comprimentos de onda do visível, para a geração do modelo. Os dados foram separados em três áreas e apresentaram coeficientes de correlação variam entre -0,58 a 0,56 para imagens de Vant entretanto para as imagens de satélites foram correlações fracas. Para o Vant os preditores mais correlacionados ph e matéria orgânica. Os resultados obtidos pela análise de regressão r^2 foram considerados baixos, sendo não indicado não espacialização e a geração do modelo de fertilidade.

Palavras-chave: bandas espectrais do visível, amostras de solos, VANT, regressão linear.

ABSTRACT

The use of computational tools and the technology developed by remote sensing tools for mapping and estimating soil fertility are important for the development of areas with agricultural practices. The use of the technique through spatial analysis can provide improvements in soil management. The objective of this work was to estimate the fertility of the soils of the Experimental Lageado Farm which belongs to the Faculty of Agronomic Sciences - UNESP, located in the city of Botucatu / São Paulo through the soil attributes and the spectral bands of the red, green and blue of the drone and the LandSat- 8 satellite. In this context, the soil attribute is essential to understand its fertility. A set of soil samples with 52 samples was used to correlate with the spectral responses of the soils in the visible wavelengths, for the generation of the model. The data were separated into three areas and showed correlation coefficients ranging from -0.58 to 0.56 for drone images however for satellite images they were weak correlations. For Vant, the most correlated predictors are ph and organic matter. The results obtained by the r^2 regression analysis were considered low, with no spatialization and the generation of the fertility model being indicated.

Keywords: remote sensing, soil fertility, drone, geostatistics, linear regression..

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Assinatura espectrais da superfície terrestre.....	31
Figura 2 -	Mapa de localização.....	40
Figura 3 -	Mapa de localização das amostras.....	44
Figura 4 -	Subdivisão dos voos com o Vant na Fazenda Experimental Lageado.....	45
Figura 5 -	Phantom 3- Pro.....	46
Figura 6 -	Mapa do imageamento da área do Vant na Fazenda Experimental Lageado.....	48
Figura 7 -	Área 1 Espacialização dos atributos ph, S e B.....	56
Figura 8 -	Área 2 Espacialização dos atributos SB e Zn.....	56
Figura 9 -	Área 3 Espacialização dos atributos Mg, Cu e SB.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características das bandas do sensor OLI - Satélite LandSat-8	35
Tabela 2 – Características da captura das imagens do Vant.....	40
Tabela 3 – Estatística descritiva das amostras de solo.....	44
Tabela 4 – Correlação entre os atributos do solo com as bandas do Vant.....	45
Tabela 5 – Parâmetros de regressão entre os atributos do solo e as bandas do Vant.....	53
Tabela 6 – Parâmetros de regressão entre os atributos do solo e RGB do LandSat-8.....	54
Tabela 7 – Equação linear do Vant.....	55
Tabela 8 – Equação linear do LandSat.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação da capacidade de trocas de cátions.....	27
Quadro 2 - Classificação da fertilidade dos solos pela saturação por bases (V%).....	28
Quadro 3 - Satélite do programa LandSat- 8.....	34

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	REVISÃO DE LITERATURA	23
2.1	A importância de informação sobre solos	23
2.2	Fertilidade do solo	25
2.2.1	Índices de fertilidade.....	26
2.3	Coleta e amostragem do solo	29
2.4	Sensoriamento Remoto aplicado ao solo	30
2.5	Geoprocessamento.....	32
2.6	Satélite LandSat 8	33
2.7	Veículo Aéreos Não Tripulados (Vants)	35
2.8	Análise exploratória dos dados	366
2.9	Aplicações de análise de regressão simples em dados de fertilidade do solo.....	38
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	39
3.1	Caracterização da área de estudo	39
3.1.2	Geologia.....	41
3.1.3	Relevo	41
3.1.4	Solos	41
3.2.	MATERIAL.....	42
3.2.1	Material cartográfico	42
3.2.3	Programas computacionais	43
3.3	Obtenção dos dados de solos	43
3.4	MÉTODOS	45
3.4.1	Processamento e especificações das imagens de Vant.....	45
3.4.2	Processamento e conversão dos números digitais para radiância do LandSat- 8.	47
3.4.3	Organização dos dados.....	48
3.4.4	Teste de normalidade dos dados.....	49
3.4.5	Análise Regressão Linear	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	Análise exploratória dos dados	51
4.2	Relação das Correlações dos dados.....	52

4.3	Modelo de predição de fertilidade dos solos com uso do VANT	53
4.4	Modelo de predição de fertilidade dos solos com uso do LANDSAT.....	54
4.5	Considerações sobre aplicação do modelo para VANT e o LandSat.....	545
5	CONCLUSÕES.....	58
	REFEÊNCIAS.....	59

1 INTRODUÇÃO

O solo é um dos principais recursos naturais componente de um ecossistema e é tão relevante quanto o ar, a água, a fauna e a flora. No entanto, os seus atributos ao longo de anos sofrem transformações através de ações de fatores naturais e pela intervenção humana.

É evidente a grande variabilidade existente nas propriedades do solo (físicas e químicas), diante disso e ao longo da história, a ação antrópica vem intervindo, transformando e corrigindo a fertilidade natural dos solos devido as intensas práticas agrícolas em vista a produtividade de alimentos.

O potencial produtivo de um solo é associado as características como a sua origem, constituição, morfologia, classificação e mapeamento dos solos, objetivando a escolha da melhor cultura a ser implantada para que assim, seja considerado um solo cultivável. Para que a sua produtividade obtenha bons resultados são realizadas análises através da sua fertilidade. Contudo, nem sempre um solo fértil está relacionado a alta produtividade devido, a grande variabilidade, a intensa utilização do solo, perda da fertilidade natural, características químicas e a fragilidade dentre outros, que somados podem afetar ou agravar a sua situação. Como consequência, há o comprometimento da produção agrícola, porém, um solo produtivo deve apresentar elementos de alta fertilidade, seja natural ou previamente corrigido.

Nessa perspectiva, para reverter situações de agravamento das propriedades físicas e químicas do solo e manter a alta produção, surge a necessidade da demanda de um manejo correto quanto à aplicação de fertilizantes e à manutenção da fertilidade em níveis adequados ou desejáveis.

A relevância do cenário, para o desenvolvimento tecnológico através de ferramentas informatizadas, tem proporcionado alternativas eficientes para um manejo mais eficaz do solo, quanto a coleta e espacialização de informações obtidas por geoprocessamento. Essa integração e variedade de dados compilados em um banco de dados tem possibilitado análises e gerações de mapas em grande escala de detalhamento.

A utilização de sensores mais apropriados em termos de escala e resolução são ferramentas que são aliadas ao produto do mapeamento de mudanças, controle, detalhe quanto a dinâmica dos solos ou dos demais recursos naturais. Por isso o

desenvolvimento de técnicas nas áreas de sensoriamento remoto, modelos matemáticos e geoprocessamento podem auxiliar os estudos e informações dos solos de uma maneira mais rápida e menos onerosa que métodos tradicionais.

O uso de novas tecnologias, por meio de Veículos Aéreos não Tripulados (Vants) que realizam, também mapeamentos com auxílio de metodologias são uma alternativa promissora para o monitoramento de áreas pontuais.

Dessa forma, este trabalho teve como objetivo fazer o uso do sensoriamento remoto para investigar a relação entre dados de amostras de solos coletados na Fazenda Experimental Lageado e correlacionar em duas escalas de detalhamento diferente através do uso das bandas espectrais RGB (*Red, Green e Blue*) do satélite LanSat- 8 e do Vant.

Enquanto objetivos específicos têm-se

- 1) Correlacionar parâmetros físico e químicos do solo com as bandas RGB do VANT (B1, B2 e B3) e também do satélite LandSat- 8 (B2, B3 e B4) orbitais;
- 2) Analisar os resultados por meio de modelos de regressão como indicador de interdependência linear.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A importância de informação sobre solos

O conhecimento do solo como um recurso natural é importante pois, ele provê direta ou indiretamente, os campos agricultáveis e as pastagens, sendo ele parte ativa do ciclo hidrológico e que sustenta a biodiversidade.

O estudo da ciência do solo natural pela Pedologia, uma das ramificações, dedica-se à origem, constituição, morfologia, classificação e mapeamento de solos, com a finalidade de buscar o manejo e a sua proteção ambiental, principalmente a conservação dos solos agrícolas (LEPSCH, 2011).

O solo era visto, por muito tempo, o reservatório de nutrientes para garantir o melhor desenvolvimento das plantas. A química aplicada na implementação de áreas agrícolas se preocupa com o balanço superficial dos elementos retirados pela própria atividade agrícola e as quantidades de retorno para assim, garantir a melhor produtividade (WHITE, 2009).

Sob essa perspectiva, o solo “ [...] é a coleção de corpos naturais dinâmicos, que contém matéria viva, e é resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação em solo se realiza durante certo tempo e é influenciada pelo tipo de relevo” (LEPSCH, 2002).

De acordo com a formação do profissional a definição e à importância quanto a sua utilidade desse recurso é vista e analisada de várias maneiras e abordagens. Enquanto para um agrônomo o solo é a base para o crescimento de vegetais, para o engenheiro civil é o suporte para sua construção; já para o geólogo é o produto do intemperismo das rochas (MILLER, 1993 apud HOFIG, 2014). Para os geógrafos é o suporte onde as sociedades humanas se estruturam, extraem os recursos para a sobrevivência e organizam o espaço físico territorial.

Em relação aos agentes de formação dos solos (clima, rochas, tempo, organismos e relevo), destaca-se o relevo, em que, conforme a sua morfologia, a água precipitada escoar, modificando o perfil pedológico. A topografia também influencia no grau de remoção de partículas pela erosão, além de facilitar a movimentação de material em suspensão ou em solução, para outras áreas.

A relevância dos solos e o aprimoramento de estudos na sua ciência é provido da demanda social, que vai desde a produção de alimentos e a fixação de

comunidades entre o campo e a cidade, até a funcionalização e a ocupação dos espaços e o fortalecimento de um modelo de agricultura fundamentado na modernização e maximização da produção (BALDASSARINI, 2016).

Com a fixação de comunidades em determinados territórios, foi o início do cultivo de plantas para suprir a demanda para obtenção de alimentos. Neste ambiente identificaram-se as condições de manutenção da vegetação nativa como também de germinação e crescimento de novas espécies (LEPSCH, 2002).

Segundo a definição da Embrapa (2006), o solo é compreendido como uma vasta extensão superficial do nosso planeta que é formado por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por minerais e orgânicos, que contém matéria viva e podem haver plantas na natureza e também, sofre modificações por atividades antrópicas.

No contexto mais atual sobre informações do solo são necessários estudos em diversas escalas, que vão desde diversas aplicações práticas pontuais, principalmente com a agricultura de precisão, até o estabelecimento de políticas públicas globais e nacionais (BARTLEY et al., 2013; CHIG et al., 2010; DOBOS et al., 2016). Entretanto, há falta de informações do solo, a partir de um mapeamento mais detalhado e outras limitações como aquisição de dados de solos e de seus atributos e, também, o custo elevado.

Todavia, mesmo com as limitações quanto ao levantamento dos solos, se aliado a novas tecnologias, como o uso de Sistemas de Informações Geográficas, permite que os planejadores do uso da terra tomem decisões importante e mais precisas quanto à alocação de recursos. Com base na tecnologia de geoprocessamento para o diagnóstico ao planejamento ambiental, zoneamento, uso e ocupação, detalhamento dos solos, utilizado para simular e analisar diversos cenários com agilidade, transformando uma base de dados heterogênea em informações relevantes (DALMOLIN et al., 2004 apud HOFIG, 2014).

Neste contexto, destaca-se a importância de novos métodos e a necessidade de estudos sobre os solos quanto ao seu levantamento e desenvolvimento de mapas técnicos que visem a subsidiar e práticas sustentáveis e o seu manejo.

2.2 Fertilidade do solo

O desenvolvimento da história da fertilidade na agricultura brasileira começou a partir dos grandes ciclos da cana de açúcar e do café, sendo no início o conhecimento estudado na fertilidade natural dos solos das matas e na migração para novas áreas, quando a fertilidade natural se exauria.

Após algumas décadas foram desenvolvendo, por meio de observações práticas do início, estudos envolvendo a fertilidade do solo e o uso de fertilizantes orgânicos e minerais, em estabelecer uma adubação prática e continua.

Os solos e sua gênese estão submetidos a mudanças e diversos fatores ambientais, em especial o clima durante o tempo e assim, uma dinâmica mais complexa (WHITE, 2009).

A qualidade e importância desse recurso para assegurar ativamente a sustentabilidade do meio ambiente e, assim a diminuição do processo de degradação, geraram importantes discussões durante a década de 1990 (HARTEMINK, 1998; BOUMA, 2002). Conforme Oliveira et al. (2011) para que o recurso, o solo, “seja avaliada adequadamente num determinado sistema de produção agrícola, seus atributos físicos e químicos devem ser considerados”.

No que se refere a questão dos seus atributos físicos e químicos, os dados espaciais são importantes para diagnosticar a produção agrícola e sua variabilidade espacial dependendo do solo, topografia, clima e atividades antrópicas. A importância do conhecimento sobre a variabilidade dos atributos do solo pode contribuir na definição de melhores estratégias para o manejo sustentável desse solo (SCHAFFRATH et al., 2008).

Os nutrientes à disposição no solo são classificados como “não-minerais” e minerais. Como exemplo dos não-minerais: o carbono (C), oxigênio (O) e hidrogênio (H). Os nutrientes minerais são aqueles absorvidos e exigidos em quantidades superiores aos demais que podem ser divididos em: macronutrientes primários, como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K); macronutrientes secundários, como o cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e enxofre (S); e micronutrientes, como o boro (B), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), cobre (Cu) e cloro (Cl) (OLIVEIRA, 2018).

Cabe ressaltar que os nutrientes encontrados no solo são fundamentais para a agricultura, pois este resulta da complexidade de inter-relações e de propriedades físicas e químicas e biológicas, assim determina o rendimento das culturas em

fornecer os nutrientes adequados, o que proporciona buscar a minimização do seu efeito e melhorar a otimização dos sistemas agrícolas. Esse fenômeno, denominado do estudo da variabilidade espacial da fertilidade do solo que, com a sua composição física e química, é muito variável quanto à quantidade de nutrientes e as regiões onde se encontram, por isso amostragem e ou análise do solo são fundamentais para indicar a sua fertilidade (OLIVEIRA,2018).

Conhecendo as características, bem como os nutrientes que compõem o solo, é possível apontar os focos com necessidade de correção da deficiência dos nutrientes neste solo. Quanto menor a quantidade de determinado mineral no solo, a deficiência deve ser corrigida de forma gradativa e, posteriormente, fazer a correção para os outros minerais com menor disposição neste solo. Assim, a produtividade é limitada pelo fator de menor quantidade de certo mineral no solo, mais conhecida como “lei do mínimo”. Dessa forma, deve-se considerar que a concentração de determinado nutriente no solo pode torna-lo fértil, porém, em relação a outro nutriente não, pois a resposta pode ser diferente em outro tipo de solo (LOPES, 1995)

Campos et al. (2009) reforçam que o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos físicos e químicos do solo auxilia no manejo preciso das atividades agrícolas por meio de separação de ambientes, práticas adequadas de adubação e alocação de variedades, assim determinando a capacidade de produtividade que permite determinar a riqueza dos solos para a nutrição das plantas.

2.2.1 Índices de fertilidade

De acordo com Freire (2006), a formação do solo se consolida a partir da desagregação dos minerais que são as rochas, essa desagregação é o intemperismo, sua composição irá condicionar a textura, mineralogia e nutrientes. De acordo com o tipo de rocha e suas características quanto aos teores de nutrientes, esse solo poderá ser pouco fértil. Para caracterização do solo quanto a sua formação tem-se “[...] modificação do material de origem e o desenvolvimento de um perfil característico para cada solo” (LUCHESE et al., 2002, p.13), e ainda, o “[...] conjunto de processos físicos, químicos e biológicos, que levam à degradação química dos minerais das rochas expostas a condições atmosféricas [...]” (RAIJ, 1991, p.17).

O processo de intemperização da rocha pode permanecer *in situ* ou ser transportado e depositado noutro lugar, por agentes naturais como a água e o vento

(FREIRE, 2006). A ação do intemperismo ocorre de três maneiras diferentes: pela ação física, química ou biológica dos agentes sobre o material de origem.

Assim, fatores de ação de formação do solo pode influenciar nas suas características como: profundidade, espessura do horizonte orgânico, umidade, cor, grau de diferenciação dos horizontes, reação (acidez e alcalinidade), conteúdo de sais e temperatura (FREIRE,2006).

Os solos que são férteis apresentam-se para produção agrícola potencialmente propícios para serem produtivos pois, propicia a fixação dos vegetais e ciclagem dos nutrientes e gases; essenciais para um bom cultivo. Além disso, outros nutrientes a disposição são essenciais como P, K, Ca, Mg e são por meio deles que estabelecem as trocas químicas e nutrientes para as plantas. É necessário também que a acidez do solo (medida pelo pH), Capacidade de Troca Catiônica (CTC), a Saturação por Base (V%) e os índices de matéria orgânica (M.O.) apresentem níveis adequados para representarem uma boa fertilidade do solo.

A fertilidade pode ser expressa pelo (V), denominado de saturação por bases e representado na forma de porcentagem (V%). Para tanto, é necessário que esse índice apresente quantidades suficientes e balanceadas como elemento fundamental para a produção agrícola pois, reflete a proporção de nutrientes como cálcio, magnésio e potássio, sódio, hidrogênio bem como a CTC, assim representando uma boa fertilidade do solo. No Brasil para o levantamento de fertilidade do solo a CTC é o parâmetro utilizado (LOPES,1995). No Quadro 1 é apresentada a sua classificação.

Quadro 1- Classificação de capacidade de troca de cátions

CTC 50 (Argila) ← Amplitude Comum da CTC → CTC 0 (Areia)	
Aplicações Práticas	
SOLOS COM CTC ENTRE 11 e 50	SOLOS COM CTC ENTRE 1 e 10
Alto teor de argila	Alto teor de areia
Mais calcário é necessário para corrigir um dado valor de ph	Maior predisposição para lixiviação de nitrogênio e potássio
Maior capacidade de reter nutrientes a uma certa profundidade do solo	Menos calcário é necessário para corrigir um dado valor de ph

Características físicas de um solo com alto teor de argila	Características físicas de um solo com alto teor de areia
Alta capacidade de retenção de água	Baixa capacidade de retenção de água

Fonte: LOPES(1995)

Com a saturação por bases pode determinar em quais condições, em cada porção da área, a fertilidade. Os solos podem subdividir em dois grupos: eutróficos (férteis) com índice (V%) $\geq 50\%$, e distróficos (pouco férteis) com índice (V%) $< 50\%$ (OLIVEIRA, 2018). A baixa fertilidade do solo ocorre quando há baixa quantidade de cátions saturando as cargas superficiais que podem reter íons de forma trocável (coloides) e que a maioria delas é neutralizada pelas trocas de cátions H^+ e Al^{3+} (EMBRAPA, 1997; SERATO, 2017). No Quadro 2 têm-se uma classificação de fertilidade de solos de acordo com o índice de fertilidade dos solos (V).

Quadro 2- Classificação da fertilidade dos solos pela saturação por bases (V%)

$0 < V \leq 20$	Muito Baixo
$20 < V \leq 40$	Baixo
$40 < V \leq 60$	Médio
$60 < V \leq 80$	Bom
$V > 80$	Muito Bom

Fonte: CFSEMG (1999)

É preciso ressaltar que estes índices pouco representam em termos da real capacidade de ceder nutrientes como P, S, Zn, Mn, já que um solo pode ser distrófico e ter uma CTC superior, com maiores teores de cátions trocáveis, do que um solo eutrófico e, portanto, ter condições de fornecer maior quantidade de nutrientes para as plantas.

Mello et al. (1983) descreve o solo fértil tendo todos os nutrientes essenciais e balanceados em quantidades suficientes. Deve estar sem materiais tóxicos e possuir propriedades físicas e químicas satisfatórias, sendo assim, solos férteis com potencial produtivo.

Em termos agrícolas, a fertilidade do solo é um pilar fundamental para boa produtividade e como o solo tem a capacidade de se apresentar, para que a planta a ser cultivada possa se desenvolver e produzir, em conjuntos com outros fatores físicos, químicos e biológicos favoráveis (BISSANI et al., 2008).

2.3 Coleta e amostragem do solo

A fim de se determinar falhas no solo agricultável, se realiza a identificação e análises detalhadas do solo, em uma área pré-determinada, por meio de uma amostragem do solo. Com essa amostragem se busca o seu detalhamento através do conhecimento das falhas, como a deficiência de minerais para posteriormente, se aplicar a sua correção apropriada (RAIJ, 1991).

Para a coleta das amostras de solo são necessários aparatos que são compostos por equipamentos como material para identificação (etiquetas, canetas, etc.) e armazenamento das amostras (sacos ou caixas de papelão), receptores de GNSS, um desenho do esquema amostral e operadores de campo (MOLIN; AMARAL.; COLAÇO, 2015)

A amostragem do solo é uma porção representativa de uma população (conjunto de elementos) em estudo que tem características em comum. Para Fiorin (2007) quanto maior for o número de amostras simples coletadas para fazer uma amostra composta, mais confiável será. Alguns fatores devem ser considerados para fazer a coleta de solo em uma propriedade, tais como vegetação (culturas anuais ou perenes, cultivares, plantas com diferentes idades); textura do solo (argiloso ou arenoso); cor do solo; topografia da propriedade (coxilha, solos de várzea); produtividade e histórico de aplicações de corretivos e fertilizantes entre outros (POTTER, 2014).

Para Lemos e Dos Santos (1996), a amostra de solo deve ser coletada antes da semeadura, pois os laboratórios necessitam de tempo para analisá-las. A época ideal para a coleta varia de acordo com o tempo de cultivo a que a área está submetida.

Quanto à profundidade, a ideal deve ser de acordo com a cultura a ser plantada, ou seja, culturas anuais, como arroz, irrigado, milho, pastagem, soja e trigo, recomendam-se amostras de até 20 cm. Em culturas já estabelecidas, coleta-se amostras de até 10 cm de profundidade. Para culturas perenes, como frutíferas e florestas, coletar amostras de 0 a 20 e de 20 a 40 cm de profundidade, antes da implementação da cultura. Após o plantio coletar amostras de 0 a 20 cm de profundidade, para reavaliação do solo (LEMOS; DOS SANTOS, 1996).

2.4 Sensoriamento Remoto aplicado ao solo

O sensoriamento remoto é compreendido como um conjunto de sensores e equipamentos para obtenção e processamento de dados de transmissão a bordo de espaçonaves, aviões, satélites e vants, com o objetivo de estudar os fenômenos que ocorrem na superfície da Terra a partir do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que a compõem, sem que haja contato físico (NOVO, 2008). As informações são produzidas por meio da radiação eletromagnética refletida e emitida pelos alvos, originada de fonte natural como o sol, por exemplo, ou por fontes artificiais, como o radar (MOREIRA, 2003; ROSA, 2005).

Essas técnicas foram amplamente utilizadas, primeiramente, durante a Segunda Guerra Mundial para as missões de planejamento militar, por meio de fotografias aéreas de média e baixa altitude. Entretanto, com advento e melhorias das redes de sensores, o sensoriamento remoto, se destacou no nível orbital e dados obtidos por satélites utilizados para aquisição e registros dos alvos de interesse (ROSA, 2005).

O procedimento de aquisição dessas informações também é utilizado para estudos em diversas áreas, na qual suas técnicas e processamento de dados permitem que remotamente se adquiram informações da energia refletida ou emitida pelos alvos no sensoriamento remoto.

O emprego desta tecnologia vem revolucionando a capacidade humana em relação à observação e medições da superfície terrestre. Jensen (2009), elucida o uso do sensoriamento remoto como uma técnica de obtenção de dados de coleta sem que possa tocar no objeto desejado.

Os sensores ópticos são responsáveis por captar os sinais eletromagnéticos e assim, é possível identificar e entender os objetos e o seu comportamento. No caso, se dois alvos são identificados, as energias eletromagnéticas terão comportamento diferente devido a faixa espectral específica para cada objeto, sendo possível a sua identificação e diferenciação (NOVO, 2008).

Segundo Molin, Amaral, Colaço (2015), o sol é a principal fonte de energia que interage com os alvos, podendo também ter sensores com emissão de energia do próprio sistema, independente da origem externa. A denominação do sistema que o sensor depende de uma fonte é passivo, e sendo amplamente usado pelos sensores acoplados aos satélites, enquanto os sistemas ativos independe de uma fonte externa.

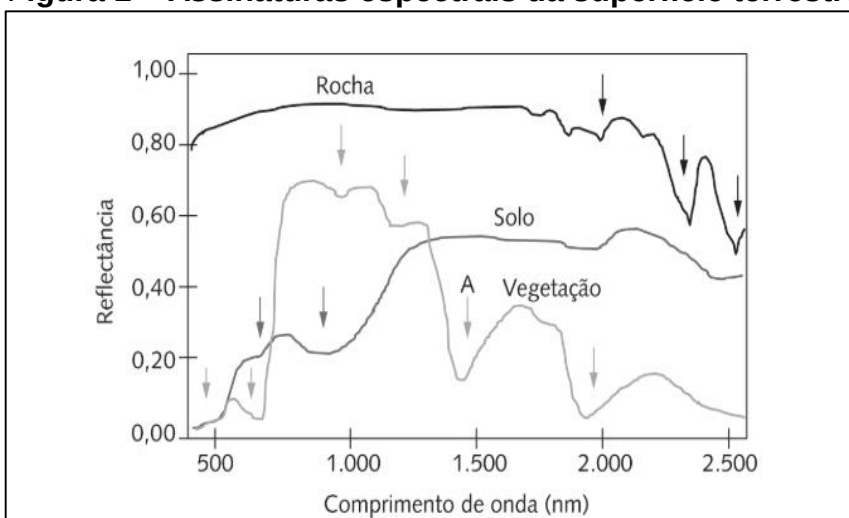
Os elementos que compõem o sistema de sensoriamento, segundo Formaggio (2017) são a fonte de radiação eletromagnética (REM), a atmosfera, os alvos terrestres (vegetação, áreas urbanas, plantações etc.), plataforma que carrega os sensores (no caso, podendo ser os satélites orbitais), os sensores, a estação de recepção, centro de armazenamento, processamento e distribuição de dados até a interação com o usuário para extrair informações necessárias ao estudo de caso.

A partir das faixas do espectro eletromagnético ou bandas espectrais, uma cena é gerada. Os sistemas sensores podem captar a energia refletida da superfície terrestre em diversas bandas, como por exemplo, na faixa da luz visível (azul, verde e vermelha), bem como na faixa do infravermelho. Porém, dependendo do tipo de sensor essas bandas podem mudar os valores de captação.

A Figura 1 ilustra as assinaturas espectrais de alguns alvos da superfície terrestre, os solos, as rochas e a vegetação. Há diversos tipos de solos, devido a sua composição, umidade e condições ambientais, desta forma, cada um terá uma resposta espectral diferente, o mesmo acontece com as rochas e o tipo de vegetação pois, possuem características espectrais diferentes (FORMAGGIO, 2017)

Observa-se na Figura 1, de acordo com que descreve Formaggio (2017), pequenos “vales” (banda de absorção). Pelas setas indicativas são mostrados os comprimentos de onda onde ocorre a absorção da REM e suas interações. O autor cita como exemplo, a REM com comprimento de onda 1.40 nm, na qual a vegetação há absorção decorrente do conteúdo interno de umidade, causando a feição de absorção centrada nesse comprimento de onda.

Figura 1 – Assinaturas espectrais da superfície terrestre



fonte:FORMAGGIO,(2017)

Os exemplos apresentados são de espectro de refletância de vegetação, rocha carbonácea e solo com óxido de ferro e indicação das bandas de absorção de seus principais constituintes.

No caso dos solos, no sensoriamento remoto se utiliza de estudos sobre o seu comportamento espectral para determinação e conhecimento de padrões, dados topográficos e caracterização de seus atributos, assim garantindo um monitoramento e possibilidade de se determinar cenários futuros, em função da alta qualidade dos dados obtidos.

2.5 Geoprocessamento

Novas geotecnologias têm proporcionado aos diversos campos de pesquisa a obtenção da informação geográfica para mapear, monitorar e avaliar de forma espaço-temporal de fenômenos, a partir do mapeamento de feições.

Neste contexto, com o advento computacional a cartografia também se inovou através de novas metodologias e definições para mapas como um modelo de dados. “Enquanto modelo, mapas permitem perceber a estrutura do fenômeno representado, uma vez que o processo de mapeamento visa o reconhecimento de qualquer fenômeno passível de representação” (MENEZES; FERNANDES, 2013, p.195)

Outros elementos que vem se tornando fundamentais são a rápida obtenção, manipulação e exibição de dados para a espacialização dos fenômenos em estudo de diversas natureza e segmentos da sociedade (MENEZES; FERNANDES, 2013).

Das geotecnologias que caracterizam o geoprocessamento, fazem parte a Modelagem Numérica de Terreno (MNT), o sensoriamento remoto, o Banco de Dados Geográficos (BDG), o Sistema de Posicionamento Global (GPS) e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Davis; Monteiro; Câmara (2001), descreveram o geoprocessamento como disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, que vem influenciando crescentemente os estudos em diversas áreas, como na cartografia, na análise de recursos naturais, na agricultura de precisão, nos transportes e planejamento urbano e regional, entre outros. Xavier da Silva (2000), privilegiando a execução do geoprocessamento digital, o define como um conjunto de técnicas computacionais que opera sobre base de dados georreferenciados, para transformá-los em informações relevantes, com

análises, sínteses e reformulações desses dados, tornando-os utilizáveis em um sistema de processamento automático.

As ferramentas computacionais para o geoprocessamento são os SIGs, que permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados.

Gatrell (2002), descreve os SIGs como um sistema de computador para colecionar, editar, interagir, visualizar e analisar espacialmente dados georeferenciados, compreendendo a localização associada a atributos. Permitem interagir ao mesmo tempo um banco de dados e desenhos geométricos, contendo inúmeros atributos. Diferenciam-se de outros sistemas porque são capazes de elucidar a informação espacial, unindo bases e produtos cartográficos georreferenciados às informações espaciais na *layer*, ou contraditoriamente, selecionar as formas geométricas na tela de visualização e obter informação no banco de dados, produzindo mapas conforme a seleção das variáveis.

Os SIGs são usualmente aceitos como sendo uma tecnologia que possui o ferramental necessário para realizar análises com dados espaciais e, portanto, oferece, ao ser implementada, alternativa para o entendimento da ocupação e utilização do meio físico, compondo o chamado universo da Geotecnologia, ao lado do Processamento Digital de Imagens (PDI) e da Geoestatística (SILVA, 2003).

2.6 Satélite LandSat 8

O desenvolvimento do programa LandSat *pela National Aeronautics and Space Administration* (NASA) contempla seus dados para o Brasil desde de 1973, para o mapeamento e estudos relacionados ao ambiente atmosférico e o monitoramento da superfície terrestre em grande escala. A série de satélites é composta por oito satélites, porém encontra-se em operação o LandSat- 8 imageando e coletando aproximadamente 400 cenas diariamente (USGS,2013).

Esse satélite possui um dos mais completos produtos de aquisição de imagens multiespectrais da superfície terrestre, aliado a boa resolução espacial (NOVO,2010). O Quadro 3 apresenta os satélites do programa e suas características.

Quadro 3 – Satélites do Programa LandSat

SISTEMA	OPERAÇÃO	SENSORES	RESOLUÇÃO ESPACIAL (M)	REVISITA (DIAS)
LandSat 1	23/07/1972 - 01/06/1978	RBV / MSS	80	18
LandSat 2	22/01/1975 - 25/02/1983	RBV / MSS	80	18
LandSat 3	05/05/1978 - 31/03/1983	RBV / MSS	30 e 80	18
LandSat 4	16/07/1982 - 08/1993	TM / MSS	30 e 80	16
LandSat 5	01/03/1984 - 05/06/2011	TM / MSS	30 e 80	16
LandSat 6	10/05/1993 - 10/05/1993	ETM+	15 (pan) e 30 (ms)	16
LandSat 7	04/04/1999 - 2017	ETM+	15 (pan) e 30 (ms)	16
LandSat 8	11/02/2013	OLI / TIRS	15 (pan) e 30 (ms)	16

Fonte: Adaptado NOVO (2010)

Os satélites da série LandSat haviam sido programados para uma vida útil de 2 anos, porém a maioria permaneceu em atividade por um tempo superior. Foram feitas modificações técnicas quanto a resolução espacial, temporal e faixas espectrais, propiciando a incorporação de novos sensores e adequação às necessidades dos usuários.

Do seu lançamento e até o último lançamento de satélite foram acoplados a bordo diferentes sensores, sendo que os primeiros modelos 1 e 2 tinham bordo o sistema RBV (*Return Beam Vidicom*) e MSS (*Multispectral Scanner*), que apresentam resolução espacial de 80 metros e temporal de 18 dias (NOVO, 2008).

O LandSat- 3 apresentava a bordo o mesmo sistema das series anteriores, porém, com melhorias no sensor RBV com a resolução espacial de 30 metros em única faixa do espectro, já o sistema MSS passou a operar no infravermelho, com a adição da banda 8. Em seguida, o LandSat- 4 e 5 carregavam o MSS como a versão anterior, contudo houve a adição do sistema TM (*Thematic Mapper*), com o registro

de 7 faixas espectrais, resolução temporal de 16 dias e espacial de 30 metros. A versão LandSat- 6 não chegou a entrar em órbita, com isso a sua próxima versão o LandSat- 7 carregaria o sensor ETM+, compondo oito bandas espectrais e adição da pancromática com resolução espacial de 15 metros, o que permitiu melhorar os parâmetros geométrico, radiométrico e geração de aplicações em até escala 1:25.000 (NOVO,2010).

No ano de 2013, com dois imageadores a bordo o LandSat- 8 passou a operar com o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) e OLI (*Operational Land Imager*) e também, como principais mudanças em relação a adição a bandas espectrais, no total 11 bandas, aliado a maior capacidade de gravação de dados e na detecção de mudanças na superfície da Terra (USGS, 2013), conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Características das bandas do sensor OLI- Satélite LandSat-8

Bandas espectrais (sensor OLI)	Comprimento de onda	Resolução espacial	Resolução temporal
Banda 1- azul	0,43- 0,45	30 metros	16 dias
Banda 2- azul	0,45- 0,51	30 metros	
Banda 3- verde	0,53- 0,59	30 metros	
Banda 4- vermelho	0,64- 0,67	30 metros	
Banda 5- infravermelho próximo	0,85- 0,88	30 metros	
Banda 6- infravermelho médio	1,57- 1,65	30 metros	
Banda 7- infravermelho médio	2,11- 2,29	30 metros	
Banda 8- pancromática	0,50- 0,68	15 metros	
Banda 9- cirros	1,36- 1,38	30 metros	

Fonte: adaptado de ROY et al. (2014)

2.7 Veículo Aéreos Não Tripulados (Vants)

O uso de Veículos Aéreos não Tripulados (Vants), ou também denominados de drones, é uma alternativa promissora para diversas aplicações e, também, no âmbito da agricultura de precisão. Essa tecnologia tem sido utilizada devido a sua agilidade e flexibilidade para grandes perspectivas de monitoramento de dados como de

lavouras ou áreas pontuais, sem a dependência da resolução temporal de muitos dados de sensores orbitais ou o fretamento de aviões (MEDEIROS et al. 2008).

O seu uso pode ser classificado de baixo custo, rápido e prático, apesar de algumas limitações físicas em comparação a aeronaves de pequeno porte, câmeras multiespectrais pequenas e leves, bandas estreitas e faixa de interesse específico. Além disso, o tempo hábil para preparar o voo de um VANT é reduzido e oferece grande flexibilidade de configuração em comparação a aviões pilotados (TORRES-SÁNCHEZ et al., 2014).

Na década de 80, o Centro Técnico Aeroespacial (CTA) estudou e desenvolveu pelo projeto Acauã, o uso de VANT no Brasil. Outros projetos estão em desenvolvimento no país, sendo o uso de VANT autônomos por pesquisas realizadas pelo CTA e o Centro de Pesquisa Renato Archer (CenPRA).

Segundo Molin, Amaral e Colaço, (2015), as imagens aéreas de satélites e videografia são ferramentas que também tem um grande potencial para identificação de manchas existentes nas lavouras, infestações de plantas daninhas, topografia e geração de mapas de produtividades.

No que tange a regulamentação do seu uso, esta é distinta para cada país que segue critérios e normas de segurança estratégica para portar o dispositivo a fim de, não comprometer a segurança nacional (MOLIN; AMARAL; COLAÇO, 2015).

2.8 Análise exploratória dos dados

A análise exploratória dos dados trata-se de uma estrutura de dados na qual se realiza a avaliação da dependência espacial com o uso de histogramas, regressões e envelopes simuladores, sem considerar ou considerando a posição geográfica das amostras. A partir desta análise inicial é possível identificar *outliers* que podem vir a interferir nos valores dos resultados e sua distribuição; orientar na escolha da análise a ser aplicada, auxiliar na decisão do tipo de estacionaridade que pode ser assumida, caracterizar a variabilidade, identificar em que local essa variabilidade é mais acentuada (HAMLETT et al., 1986; ROSSI et al., 1992; RIBEIRO JUNIOR, 1995; LIBARDI et al., 1996; OLIVEIRA et al., 1998, DIGGLE; RIBEIRO JUNIOR, 2000 apud OLIVEIRA, 2013). Também compreende em realizar mapas de contorno, gráficos tridimensionais e gráficos de médias versus variância, aplicar estatística baseada em janelas móveis, avaliar normalidade, assimetria e curtose, retirar dados atípicos

principalmente quando existem erros grosseiros com causas desconhecidas e adotar técnicas robustas de análise (RIBEIRO JUNIOR, 1995).

No caso de trabalhos para o mapeamento das características da fertilidade do solo são avaliados o comportamento dos dados, obtidos por estatística descritiva e com medidas de tendência central: média, moda e mediana, como medidas de dispersão: amplitude total, desvio padrão, variância e coeficiente de variação; e medidas de assimetria e de curtose, as quais fornecem informações sobre o formato da curva de distribuição dos dados (LANDIM, 2003).

A avaliação das médias de tendência é importante para verificar a dispersão ou variabilidade entre os valores, uma vez que em torno de valores centrais eles são agrupados (CRESPO, 2009).

Os valores que ocorrem com maior frequência são definidos pela moda e que permite obter uma medida de tendência central, com mensuração: nominal, ordinal ou intervalar (LEVIN, 1987).

A mediana é definida de acordo com Levin (1987) com o “[...] ponto central [...] que corta a distribuição em duas partes iguais”. De acordo com o autor, a posição do valor mediano pode ser determinada pelo exame dos dados ou pelas formulas: $\frac{N}{2}+1$ e $\frac{N}{2}$, para um conjunto de números pares, onde:

N: é o número total de dados. Esse indicador tem nível de mensuração ordinal ou intervalar e, é utilizada em operações estatísticas avançadas ou para “quebrar” uma distribuição em duas categorias distintas (LEVIN, 1987).

A variância e o desvio padrão são medidas de dispersão que consideram a totalidade dos valores das variáveis em estudo, segundo Crespo (2009), realiza índices de variabilidade estáveis e, assim, sendo os mais empregados.

Os valores da variância são em torno da média aritmética, determinando a média aritmética dos quadrados dos desvios. A variância é representada por s^2 (Equação 1):

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (1)$$

Onde, s^2 = variância, x_i são os valores observados, $\bar{x}$ é a média e n são os números de elementos.

O desvio padrão é a “variabilidade média” de uma distribuição, já que ele mede a média de discrepância (desvios) com relação à média, conforme a Equação 2.

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Onde, s é desvio padrão, x_i são os valores observados, $\bar{x}$ é a média e n são os números dos elementos.

Por fim, a análise da correlação verifica o estudo das relações existente entre as variáveis. Para isso, através da análise de regressão, a qual “[...] tem por objetivo descrever, através de um modelo matemático, a relação entre duas variáveis” (CRESPO, 2009, p.145), obtendo-se uma função definida pela equação 3 de correlação:

$$Y = aX + b \quad (3)$$

Landim (2003, p.38), define a assimetria como o “[...] grau de afastamento da média em relação à moda e à mediana”, e a curtose como um “[...] medida que dá o grau de achatamento da curva”.

2.9 Aplicações de análise de regressão simples em dados de fertilidade do solo

A técnica de regressão é muito usada para estimação. Esta técnica auxilia em investigações e a modelar a relação entre variáveis, com a intenção de estimar parâmetros desconhecidos e verificar se são validos ou não a resposta para a variável (WEISBERG, 1985).

O dado utilizado para análise tem origem de observações em grupo de variáveis. A avaliação da regressão calcula a causa e efeito, da explanação da tendência do comportamento entre essas variáveis analisadas. Para Stevenson (1986) “ a correlação mede a força ou grau de relacionamento entre duas variáveis; a regressão dá uma equação que descreve o relacionamento em termos matemáticos”.

A partir da regressão linear (linha reta) tem a equação matemática linear para descrever a relação entre as variáveis, sendo uma dependente e outra independente, estimando os valores com base em valores já conhecidos da outra. Da mesma forma que empregamos a média para sintetizar uma variável aleatória, a reta da regressão

é usada para simplificar a estimativa linear entre duas variáveis aleatórias (LAPPONI, 1997).

O emprego de amostragem com uso da regressão para análise de fertilidade de solos é importante de maneira a especializar e mapear a variabilidade dos solos, pois assim é possível reproduzir mapas mais coesos e preciso (SOUZA et al., 2004).

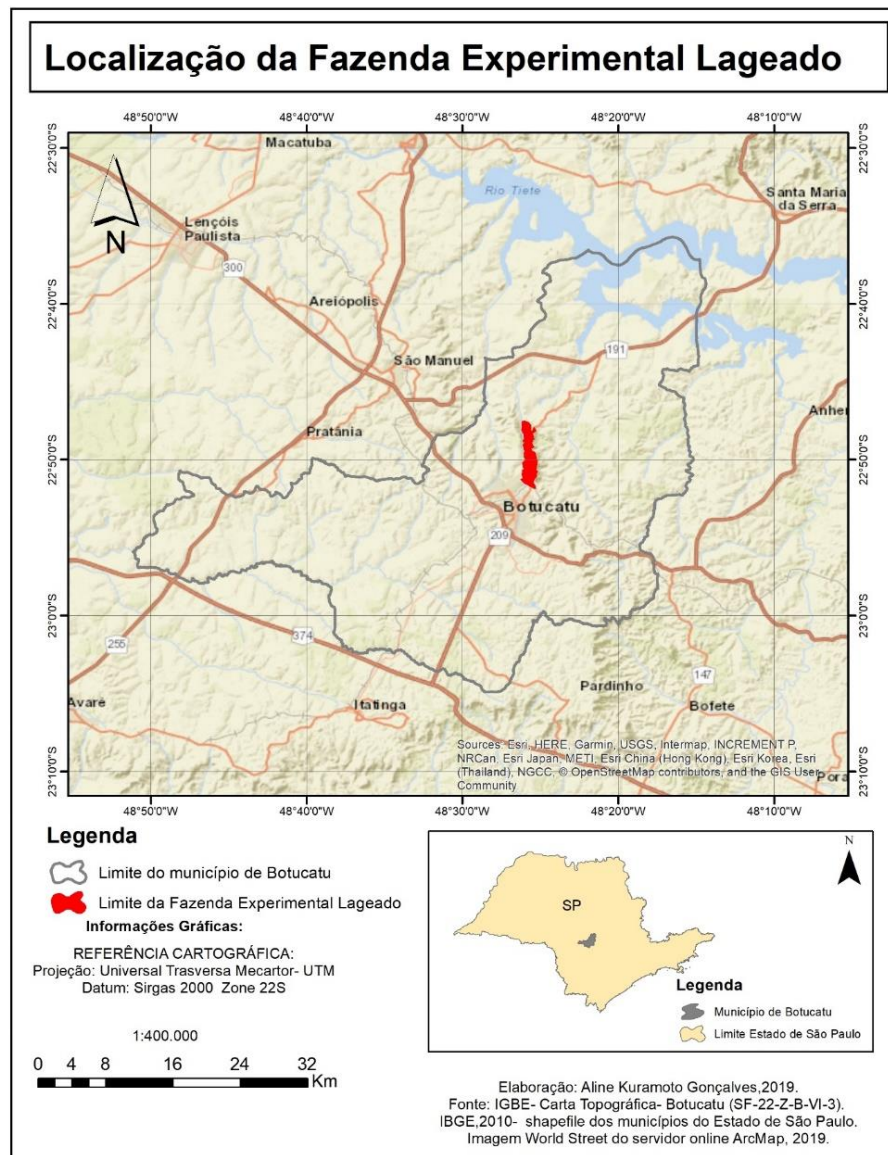
Aliada a casos à agricultura essa técnica possibilita previsões de dados e modelagens matemáticas para entender o comportamento de variáveis, de fácil medição e rápido processamento entre as várias fases existentes para um levantamento de solos (VANWALLEGHEM et al., 2017).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A Fazenda Experimental Lageado pertence a Faculdade de Ciências Agrônômicas/ UNESP- campus Botucatu. A área está localizada a 48°26' de longitude Oeste e 22° 51' de latitude Sul, com altitude média de 740 metros, com 940,4 hectares que inclui os departamentos e administração, como também os locais de atividades agrícolas (Figura 3). A estrada de ligação ao distrito de Vitoriana corta a Fazenda de Norte a Sul, com uma extensão aproximada de 8 quilômetros (CARVALHO; ESPÍNDOLA; PACCOLA, 1983).

Figura 2- Mapa de Localização



O clima do município onde está inserida a Fazenda Experimental Lageado é caracterizado por um inverno frio e seco e verão quente e úmido, na região é do tipo Cfa (Clima subtropical de inverno seco e verão quente), de acordo com a classificação Koppen. Os dados referentes à temperatura média anual superior a 22°C e 1358,6 mm anuais de precipitação pluvial (DA CUNHA, MARTIS, 2009 apud PENACHIO, 2017).

3.1.2 Geologia

Com base no mapa geológico do estado de São Paulo, na Fazenda Experimental Lageado os terrenos têm sua formação Serra Geral, onde os basaltos, por conta do intemperismo, vão originar diferentes solos, sendo que esses materiais se encontram misturados mais grosseiros (sedimentos neoceno-zóicos) (PENACHIO, p.35, 2017).

A Formação Serra Geral, é constituída por rochas vulcânicas apresentando uma coloração em tons de cinza a negro, com cristais de pequenas dimensões, sem forma definidas, caracterizando assim uma textura afanítica. (LANDIM, 1983).

3.1.3 Relevo

A Fazenda Experimental Lageado localiza-se sobre o Planalto Ocidental, em relação à cuesta basáltica, principalmente em locais que ocorrem sedimentos neoceno-zóicos, onde também, existe uma área de baixada a 150 metros a noroeste. (CARVALHO; ESPÍNDOLA; PACCOLA, 1983 apud PENACHIO, p.36, 2017)

3.1.4 Solos

Para Carvalho et al. (1983) apud Penachio (p.36, 2017), existem oito tipos de solo na Fazenda Experimental Lageado, sendo estes atualizados segundo a classificação da Embrapa (2013):

- a) NVd1 – NITOSSOLO VERMELHO Distrófico textura argilosa ou muito argilosa – Unidade de Mapeamento Lageado – Solos com saturação por bases baixa na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B;
- b) RLd – NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico substrato basalto – Unidade de Mapeamento Litossolo Lageado – Solos com horizonte A diretamente sobre a rocha ou sobre horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% ou mais de sua massa constituída por cascalhos, calhaus e matacões;
- c) LVd – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média – Unidade de Mapeamento Patrulha - Solos com saturação por bases baixa na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B

- d) LVdf1 – LATOSSOLO VERMELHO Distroférico textura argilosa – Unidade de Mapeamento Túnel - Solos com saturação por bases baixa e alto teor de Ferro, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.
- e) LVdf2 – LATOSSOLO VERMELHO Distroférico textura média/argilosa – Unidade de Mapeamento Venda Seca - Solos com saturação por bases baixa e alto teor de Ferro, ambos na maior parte dos primeiros 100 cm do horizonte B.
- f) LVdf3 – LATOSSOLO VERMELHO Distrófico transição para NVdNITOSSOLO VERMELHO Distrófico textura média – Unidade de Mapeamento Boca da Serra;
- g) NVd2 – NITOSSOLO VERMELHO Distrófico transição para LATOSSOLO VERMELHO Distrófico, textura média/argilosa – Unidade de Mapeamento Experimental;
- h) RYbd - NEOSSOLO FLÚVICO Distrófico – mal drenado – Unidade de Mapeamento Lavapés – Solos derivados de sedimentos aluviais com horizonte A ausente sobre camada ou horizonte C e que apresentam caráter flúvico dentro de 150 cm de profundidade.

3.2. MATERIAL

3.2.1 Material cartográfico

Do material cartográfico e dados espaciais utilizados na elaboração do trabalho:

a) Carta planialtimétrica editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em formato digital, na escala 1:50.000, obtida gratuitamente, no site do IBGE, folha de Botucatu (SF-22-R-IV-3), editada de 1969.

b) Imagem do satélite LandSat 8, na qual as bandas B2, B3 e B4 (rgb) do sensor *OLI- Operational Land Imager*, da órbita 220, ponto 76, quadrante A. A data de aquisição foi no dia 18 de abril de 2019, com Projeção- *Datum SIRGAS 2000*, UTM Zona 22 Sul, sendo obtida gratuitamente através do catálogo de imagens do Departamento do Interior dos EUA/ Pesquisa Geológica dos EUA.

c) Para obtenção das imagens de alta resolução foi utilizado um VANT fabricado pela DJI, modelo *Phantom 3 Pro*, dotado de sensor RGB de 12 megapixels com quadro de 3000 por 4000 pixels medindo 6,6 por 4,62 milímetros e distância focal de 0,02 m equivalente, a coleta das imagens foram nos dias 07, 23 e 30 de maio de 2019.

3.2.3 Programas computacionais

Quanto aos programas computacionais contemplados pelo estudo:

- a) *QGIS* (*QGIS DEVELOPMENT TEAM*, 2016): processamento das informações geográficas e elaboração de mapas temáticos;
- b) *R Language and Environment for Statistical Computing* (*R DEVELOPMENT TEAM*, 2016): estatística descritiva e análise geral dos dados;
- c) *Drone Deploy*- Aplicativo móvel gratuito *iOs* e *Android*, utilizado para planejamento e execução do voo em campo;
- d) *Agisoft PhotoScan*: programa de computador fotogramétrico autônomo para geração automática de nuvens de pontos densos, texturizados, modelos poligonais, ortomosaicos georreferenciados, modelo digital de terreno e modelo digital de superfície, com o seu uso da licença gratuita por 30 dias.
- e) O programa Estatística de Ciências Sociais (*STANGROOM*, 2019) – site gratuito para elaboração de teste estatísticos.
- f) O *Excel* de computador da *Microsoft Office* 2010, o *Excel* para edição de planilhas, criação de novas tabelas e análises de regressão.

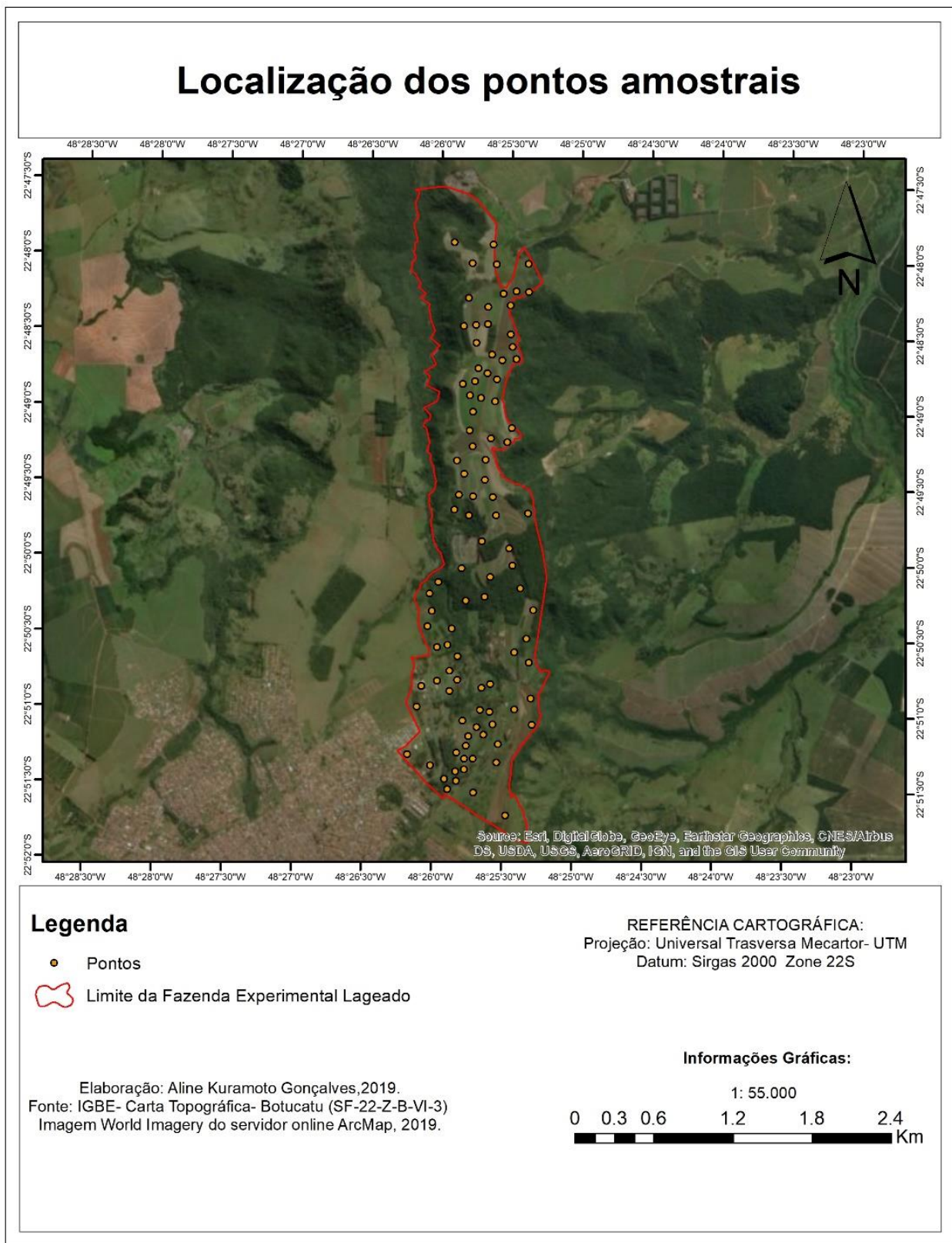
3.3 Obtenção dos dados de solos

A área compreendida pela obtenção das amostras dos solos situa-se no município de Botucatu, na Fazenda Experimental Lageado que pertence à UNESP.

A área de fazenda compreende estrutura para os departamentos e áreas de campo experimental que antigamente, eram áreas em sua maioria de monocultura.

As amostras de solo foram coletadas e adquiridas do banco de dados feito pelo Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas (GEPAG). Esta malha compreende 98 amostras nas camadas de 0-20m O banco de dados foi reorganizado considerando apenas uma profundidade do solo (horizonte A) (Figura 4), entretanto para a realização desse estudo as amostras foram reduzidas.

Figura 3- Mapa de Localização das amostras



As amostragens regionalizadas possibilitam mapear a direção da variabilidade das propriedades granulométricas (textura) e as propriedades químicas, permitindo

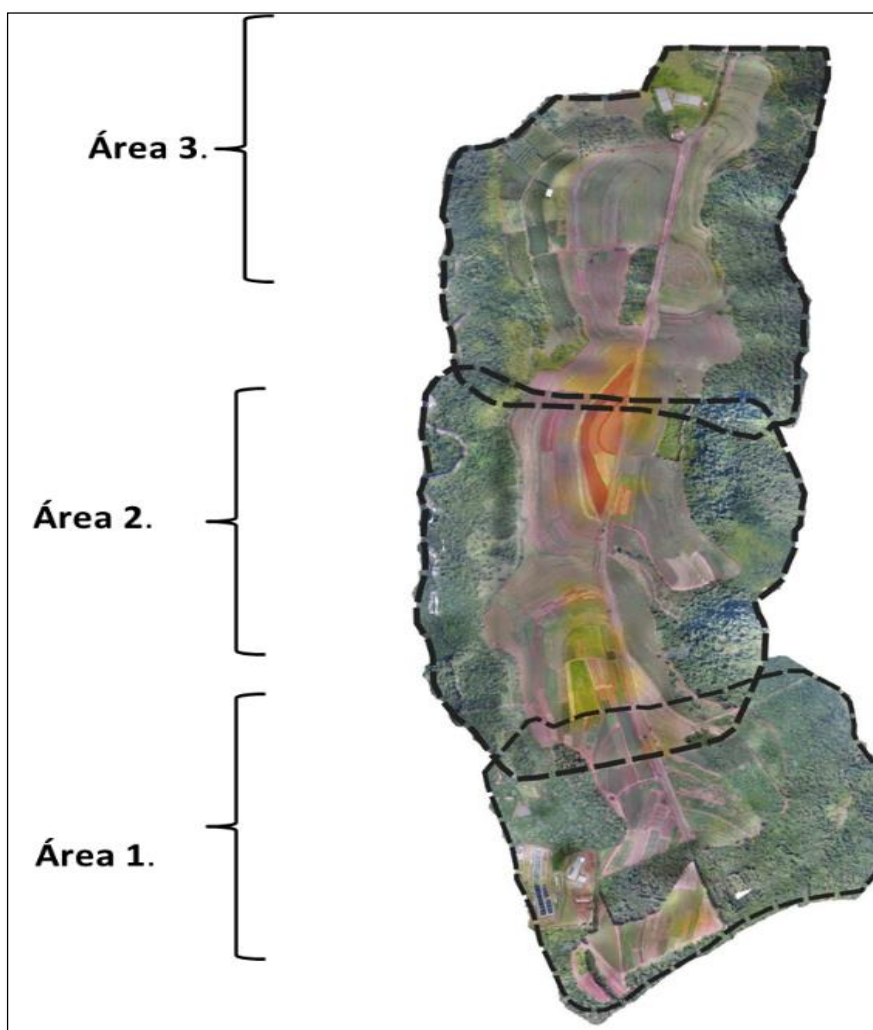
mapear as produções das culturas face às diferentes situações de fertilidade do solo e tipos de solo (RIBEIRO JUNIOR, 1995).

3.4 MÉTODOS

3.4.1 Processamento e especificações das imagens de Vant

A área imageada da Fazenda Experimental Lageado foi subdividida em 3 áreas que corresponde a área total aproximadamente 500 hectares, dos 940,4 hectares da área total. A divisão foi feita devido a limitação duração das baterias do Vant e o tamanho da área para a realização do mapeamento conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4- Subdivisão dos vãos com o Vant na Fazenda Experimental Lageado



As coletas foram realizadas com o modelo do Vant *Phantom 3- Pro* (Figura 5) no mês de maio de 2019.

Para o voo os comandos são realizados nos três eixos a) para frente e para trás (*Pitch*); b) direita e esquerda (*Roll*); c) para cima e para baixo (*Elevator*) além da rotação no próprio eixo para direita e esquerda (*Yaw*). A plataforma do VANT possui um sistema embutido denominado *Inertial Mensurement Unit (IMU)*, traz o controle de altitude por um sensor de inércia e um altímetro barométrico. O sistema *Compass* realiza a leitura da informação geomagnética com o auxílio do *GPS* aumentando a acurácia do cálculo da posição de altura do *GPS* aumentando a acurácia do cálculo da posição e altura do Vant. O Gimbal auxilia na estabilização da câmera durante o voo, possibilitando boas coletas.

Figura 5 – Phantom 3- Pro



Fonte: DJI (2019)

Para realização do voo foi utilizado o aplicativo para *IOS Drone Deploy*, na qual foi feito o plano de voo para o Vant decole e capture as imagens de forma autônoma. O tempo total de voo foi considerado como o intervalo entre decolagem e pouso, entretanto devido a limitação da propria bateria foram feitas trocas para que toda a coleta do imageamento fosse realizada, a Tabela 2 ilustra as características da aquisição. O Vant cobre uma área aproximadamente de 30 hectares com autonomia

de voo de 15 minutos, portanto foram realizados mais de uma data para cada imageamento. Após a coleta foi realizado o processamento para unir as imagens georreferenciadas com o programa de computador *Agisoft Photoscan*, obtendo o ortomosaico.

Tabela 2 - Características da captura das imagens do VANT

Data	Hora do voo do VANT		Elevação Do VANT	Banda	Câmera VANT	
	Início	Final	Metros	RGB	Sobreposição longitudinal	Mega Pixels
07/05/19	10:00	11:30	120 m	RGB	80% - 70%	6,4 cm/px
23/05/19	10:00	11:47	120 m	RBG	80% - 70%	6,4 cm/px
30/05/19	10:00	11:53	120 m	RGB	80% - 70%	6,4 cm/px

Onde: RGB é a reflectância vermelha (Red- R), verde (Green- G) e azul (Blue- B).

Fonte: Elaborada pela autora(2019).

3.4.2 Processamento e conversão dos números digitais para radiância do LandSat- 8

Quando se realiza a obtenção de imagens, essas estão na forma de Número Digitais (ND), que não têm correspondentes físicos, ou seja, não é correta a realização de operações algébricas entre bandas utilizando os mesmos. Os valores de ND são escalonados de maneira singular entre as bandas de um mesmo sensor e entre as bandas diferentes sensores, tendo a amplitude dos mesmos, variando de acordo com a resolução radiométrica das imagens, o que impossibilita a comparação entre bandas, visto que os objetos respondem de maneira singular aos diferentes comprimentos de onda (PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH., 2012).

Para solucionar esse problema, faz-se necessário a conversão destes valores para valores correspondentes que explique os alvaos fisicamente, como, por exemplo, a radiância e a refletância.

Na conversão radiométrica, os números digitais são transformados em valores de irradiância (Equação 4) e posteriormente, para reflectância (Equação 5), conforme Teixeira et al. (2015).

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L \quad (4)$$

Onde: L_{λ} = irradiância no topo da atmosfera, $W.m^{-2}sr^{-1} .\mu m^{-1}$; M_L = Fator de redimensionamento multiplicativo específico da banda a partir do arquivo metadados;

AL = Fator de redimensionamento aditivo específico da banda a partir dos metadados (deslocamento); Qcal = valores do pixel da banda espectral (DN). Os valores de compensação de ganhos são fornecidos no arquivo de metadados da imagem.

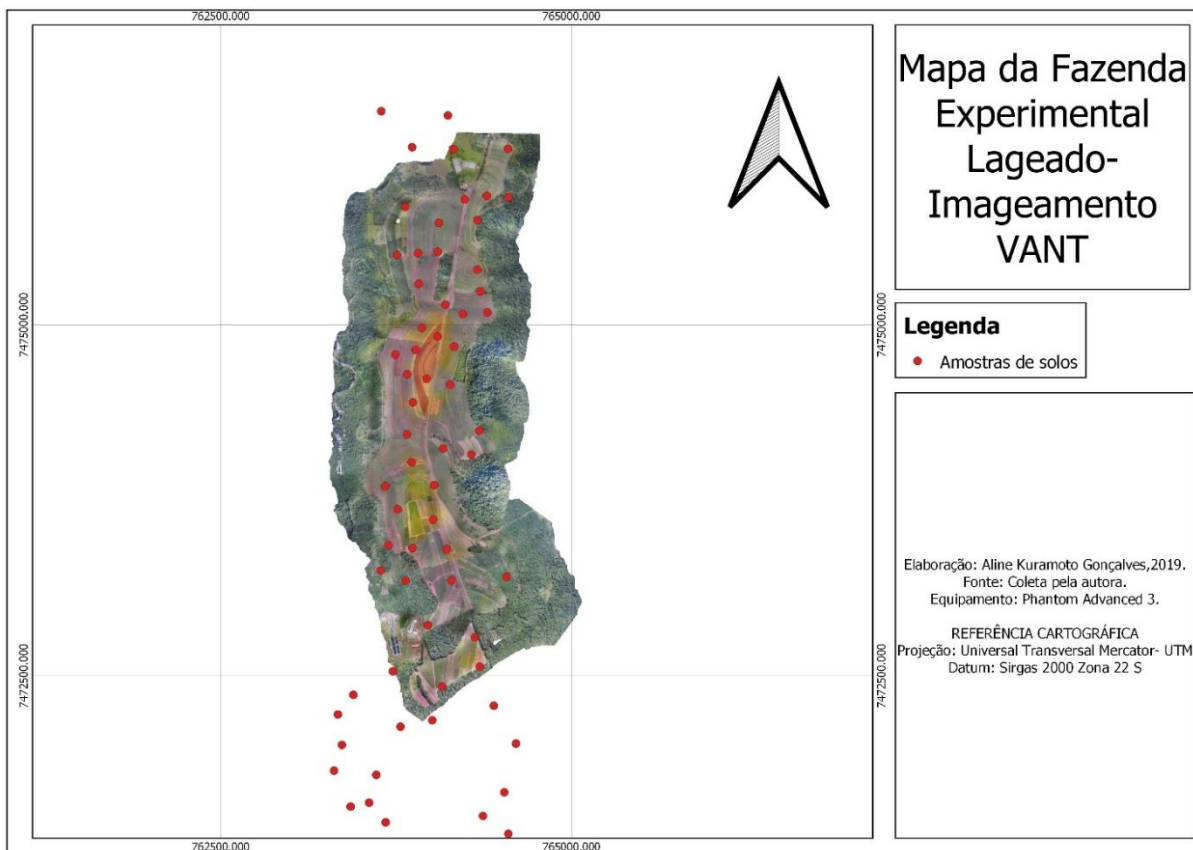
$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{ESUN_{\lambda} \times \cos Z} \quad (5)$$

Onde: ρ_{λ} = reflectância no topo da atmosfera, adimensional; $ESUN_{\lambda}$ = irradiância média solar no topo da atmosfera para cada banda, W.m⁻². μm⁻¹ ; Z = ângulo zenital solar (radianos); d = distância Terra-Sol em unidades astronômicas

3.4.3 Organização dos dados

No processo inicial do estudo, levantou-se todas as informações a respeito da área, limite, *download* das imagens do satélite do LandSat-8 e o plano de voo para o Vant, constituindo-se um banco de dados de arquivos para a área em estudo. O número de amostras foi reduzido, devido a limitação do equipamento pelas suas baterias, dessa forma foi feito com o limite novo do imageamento pelo Vant (Figura 6).

Figura 6- Mapa do imageamento da área do VANT na Fazenda Experimental Lageado



A fim de estimar a fertilidade dos solos da Fazenda Experimental Lageado foi necessário organizar os dados em planilhas, considerando somente uma profundidade do solo, a superficial (Horizonte A).

Através do uso do QGIS 3.4 foi aplicada a camada máscara de pontos (*shapfile*) das amostras de solo sobre as imagens de cada banda para extrair os valores referentes a pixels do RGB. Com a ferramenta do QGIS- *The Point Sampling Tool Plugin* que coleta os atributos e valores das camadas em pontos de amostragem especificados. O *plug-in* cria uma nova camada de pontos com os locais fornecidos pelos pontos de amostragem de atributos obtidos de todos os polígonos subjacentes ou células de varredura

Em seguida, os dados das camadas e os valores das análises de solos foram inseridos no programa R para análise de correlação.

Procurou a partir dos dados de correlação iniciar a análise estatística para elaboração do modelo para fertilidade do solo através da análise de regressão, com base em valores extraídos das bandas espectrais dos comprimentos de onda das bandas B azul (*Blue*), B Verde (*Green*) e B Vermelho (*Red*) do Vant e LandSat-8 e as variáveis das amostras do solo. Não foi realizado a validação dos dados amostrais, somente foram geradas estimativas a partir da análise de regressão.

Pode-se verificar com análise exploratória de dados a estatística descritiva, suas informações são relevantes sobre o conjunto de dados obtidos através da média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, número de pontos, curtose, assimetria de variação e o p- valor.

Para análise de modelos de regressão adotou-se o coeficiente de correlação (r^2) e os valores dos coeficientes para calcular o modelo de regressão.

3.4.4 Teste de normalidade dos dados

Outra etapa importante para verificação dos dados foi o teste de normalidade, sendo realizado o *Kolmogorov-Smirnov*. O teste de ajustamento com uso de *Kolmogorov* estabelece se as variáveis em cada grupo apresentam a distribuição normal ou não (com $p > 0.05$), onde foi verificada a ausência de diferença significativa entre a distribuição dos dados e a distribuição normal (LOPES et al., 2005).

3.4.5 Análise Regressão Linear

A análise estatística para elaboração do modelo proposto com base na relação entre as variáveis dependente (Y) e outras variáveis chamadas independentes (X). Este modelo é designado por modelo de regressão linear simples (MRLS) para a definição entre essa relação. Analisa o grau de relacionamento entre as variáveis X e Y deve ser assumido. Se o grau de relacionamento entre as variáveis é forte ou fraco (equação 6).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \varepsilon_1 \quad , i = 1, \dots, n \quad (6)$$

Onde:

y_i - Valor da variável ou dependente Y;

x_1 - Valor da variável independente X;

ε_1 , $i = 1, \dots, n$ são variáveis aleatórias que correspondem ao erro;

β_0 e β_1 - são variáveis aleatórias que correspondem ao erro (variável que permite explicar a variabilidade existente em Y e que não é explicada por X);

ε - erro aleatório ou estocástico, onde se procuram incluir todas as influências no comportamento da variável Y que não podem ser explicadas linearmente pelo comportamento da variável X;

O parâmetro β_0 trata do ponto em que a reta regressora corta o eixo do y quando o $x = 0$ e é chamado de intercepto, ou coeficiente linear.

O resultado da regressão é o r^2 , denominado de coeficiente de associação. Esse valor varia de -1 a 1 (respostas positivas e negativas) e assim, o grau de associação entre duas variáveis testadas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise exploratória dos dados

A Tabela 3 apresenta o comportamento das amostras físicas e químicas dos dados de solo pela da estatística descritiva obteve-se a média, mediana, variância, assimetria, curtose e a verificação da normalidade pelo teste de *Kolmogorov- Smirnov* (LILLIEFORS, 1967). Os resultados estão organizados na sequência.

Tabela 3 - Estatística descritiva das amostras de solos

VARIÁVEL	NÚMERO DE AMOSTRAS	MÉDIA	MEDIANA	CV	ASSIMETRIA	CURTOSE	P-VALOR
Ph	52	5,125	5,1	0,571	-0,0591	-0,7477	72179
MO	52	27,98	27	9,641	0,8733	2,4393	4192
P	52	29052	24	23,249	3,9283	19,078	1
Al	52	3,25	2	3,4762	1,9105	3,5114	00001
H+Al	52	48,792	39,5	26,162	2,2506	6,197	00338
K	52	2,6	2	1,9342	1,4112	2,123	00421
Ca	52	42,188	36,5	33,77	2,43556	7,892	0,0075
Mg	52	15,604	13	11,574	1,9171	4,8775	02872
Sb	52	60,510	55	45,406	2,1906	6,3636	0162
CTC	52	109,38	101,5	47,976	1,994	6,736	03116
V%	52	52,115	54,5	19,252	-0,3156	-0,6125	0,3267
B	52	0,80844	0,77	0,2652	1,1335	2,575	20194
Cu	52	8,87292	9,25	4,0532	-0,1265	-0,7425	0,6593
Fe	52	38,542	25	37,412	2,2615	5,957	00059
Mg	52	146,47	130,2	106,51	0,2095	1,5145	0,0154
Zn	52	3,043	2,4	2,8559	3,393	16,343	00041
Areia Grossa	52	111,59	59	110,7477	1,2653	0,8074	00155
Areia Fina	52	201,32	158	131,24	1,2343	1,6721	01828
Argila	52	463,99	490	144,33	-0,6712	-0,3784	1489
Silte	52	220,6	225	131,39	0,4502	-0,2474	53156

Fonte: Elaboração da autora (2019).

Observou-se que os coeficientes de variação (CV) estão entre 0,2652 a 144,33. De acordo com a classificação proposta por Warrick e Nielsen (1980), os valores de Ph, MO, Al, K, B, Cu e Zn são classificados como baixos ($CV < 12\%$). Com valores altos ($CV > 60\%$) foram Silte, Argila, Areia Fina e Grossa e Magnésio. Os demais atributos de CV podem ser considerados como média variação ($12\% < CV < 60\%$).

Valores elevados de CV podem ser considerados como os primeiros indicadores da existência de heterogeneidade nos dados (FROGBROOK et al., 2002).

Para a verificação da hipótese de normalidade na distribuição de frequência dos dados, adotou-se o teste de *Kolmogorov-Smirnov* (LILLIEFORS, 1967), este mostrou distribuição normal para Ph, V%, Boro, Cu, Argila e Silte o restante dos dados, com valores de p- valores inferiores a 0,05 que não seguem uma distribuição normal (LILLIEFORS, 1967; OLEA; LUPPENS, 2015).

4.2 Relação das Correlações dos dados

O coeficiente de Correlação (r) foi calculado entre as variáveis do solo e as bandas espectrais das imagens digitais RGB do Vant e do satélite LandSat- 8 a partir dos pontos de amostras. O valor de r demonstra qual será o comportamento entre as variáveis, tendo os valores negativos ou positivos. Faz a ressalva que áreas com bons indicadores de fertilidade coincidem com áreas de agricultura, com relação às áreas com cobertura vegetal e água.

A Tabela 4 corresponde aos valores representativos das relações entre as variáveis numéricas disponíveis, com respectivos valores do coeficiente de correlação das bandas espectrais do Vant.

Tabela 4 –Correlação entre os atributos do solo com as bandas do Vant

Atributos	Banda 1	Banda2	Banda 3
Área 1- pH	-0,58	-0,56	-0,56
Área 1- Ca	-0,56	-	-
Área 1- Silte	-0,54	-	-
Área 1- Matéria Orgânica	-	-0,56	-0,56
Área 3- Cobre	-0,56	-	-

Fonte: Elaboração da autora (2019).

Foram observadas correlações negativa para o Vant na área 1- Ph entre B1 ($r^2 = -0,58$), Ca entre B1 ($r^2 = -0,56$) e Silte entre B1 ($r^2 = -0,54$) quando estão alinhados em sentido contrário. A correlação positiva para valores crescentes foram Ph entre B2 e B3 ($r^2 = 0,56$), MO entre as B2 e B3 ($r^2 = 0,56$).

Foram observadas nenhuma correlação que causa e efeito, as variáveis foram fracas entre elas.

Foram observadas correlações negativa para o VANT na área 3 Cobre entre B1 ($r^2 = -0,56$) quando estão alinhados em sentido contrário. Para as demais variáveis foram fracas entre elas.

Em relação das variáveis do coeficiente de correlação entre as bandas do satélite LandSat8 e as amostras dos solos apresentaram que as bandas do satélite obtiveram baixa correlação do seu comportamento, na qual não foi significativa.

De acordo com trabalho de Demattê, Toledo, Simões (2004) no qual utilizaram dados espectrais de todas as bandas do LandSat 5 para correlacionar entre os atributos dos solos. Observaram que a banda do infravermelho contribui positivamente para forte correlação com elementos do solo, dessa forma reforça a utilização de sensores que captem dados de infravermelho de refletância apresentando valores satisfatórios.

Por outro lado, os dados orbitais podem estar sujeitos a fatores não controlados como culturas agrícolas, rugosidade da superfície, umidade, atmosfera, iluminação que a tendência a baixa correlação também (GUYOT, 1996).

4.3 Modelo de predição de fertilidade dos solos com uso do VANT

Após as análises exploratórias dos dados e sua correlação, foram gerados os modelos de predição de fertilidade por meio da regressão, o objetivo foi comprovar com os valores do coeficiente de determinação para assim construir ou não, a qualidade de ajuste do modelo para predição de fertilidade através das distribuições amostrais em relação aos valores que varia entre 0 e 1 (WHEATHERBURN, 1962).

Os dados foram organizados na tabela 5, a seguir.

Tabela 5 – Parâmetros da regressão entre os atributos do solo e as bandas do Vant

Variável	BANDA 1			BANDA 2			BANDA 3		
	r^2	β_0	β_1	r^2	β_0	β_1	r^2	β_0	β_1
Área 1- ph	0,3169	6,2050	-0,0084	-	-	-	-	-	-
Área 1- S	-	-	-	0,271	75,0752	-0,2278	-	-	-
Área 1- B	-	-	-	-	-	-	0,2728	-0,1003	0,0054
Área 2- ph	0,3169	6,2050	-0,0084	-	-	-	-	-	-
Área 2- Zn	-	-	-	0,192	1,2263	0,0170	-	-	-
Área 2- Zn	-	-	-	-	-	-	0,1123	1,9280	0,0136
Área 3-Cu	0,3209	17,055	-0,0345	-	-	-	-	-	-
Área 3-Mg	-	-	-	0,112	38,4341	-0,1083	-	-	-
Área 3-SB	-	-	-	-	-	-	0,2629	184,695	-0,799

Fonte: Elaboração da autora (2019).

De maneira geral, o valor calculado pela regressão obteve-se um r^2 inferior a 0,5 para as variáveis dos solos. Tal fato, é uma característica de uma fraca correlação entre elas.

4.4 Modelo de predição de fertilidade dos solos com uso do LANDSAT

Os resultados obtidos pelo cálculo da regressão foram baixos, inferiores a 0,5 para as variáveis analisadas na Tabela 6. O estudo para o comportamento espectral de solos Santos et al. (1990) trata que há necessidade em analisar duas bandas e entre elas uma no visível e outra no infravermelho.

Os resultados para r^2 para as bandas RGB do satélite foram baixos.

Tabela 6- Parâmetros da regressão entre os atributos do solo e RGB do Landsat

Variável	BANDA 4			BANDA 3			BANDA 2		
	r^2	β_0	β_1	r^2	β_0	β_1	r^2	β_0	β_1
Área 1- S	0,185	26,764	0,0295	-	-	-	-	-	-
Área 1- P	-	-	-	0,251	8,3819	0,0292	-	-	-
Área 1- P	-	-	-	-	-	-	0,1827	12,5054	0,0414
Área 2- Argila	0,169	490,94	0,1231	-	-	-	-	-	-
Área 2- K	-	-	-	0,244	-1,8281	0,0098	-	-	-
Área 2- Argila	-	-	-	-	-	-	0,2218	421,889	0,5069
Área 3- Mn	0,158	309,56	-0,1247	-	-	-	-	-	-
Área 3- Argila	-	-	-	0,077	656,832	-0,16101	-	-	-
Área 3- Mg	-	-	-	-	-	-	0,1154	34,23	-0,0312

Fonte: Elaboração da autora (2019).

4.5 Considerações sobre aplicação do modelo para VANT e o LandSat

Para cada uma das amostras do solo na área de estudo foi coletado valores de cada uma das bandas das faixas espectrais do RGB (vermelho, verde e azul) para o VANT e do LandSat, por meio do método proposto aplicou se a análise de correlação e o modelo de análise das respostas espectrais. Os parâmetros foram estabelecidos

através da equação representam a média esperada na variável resposta dos coeficientes parciais

Na Tabela 7 representam as equações do modelo linear, obtendo-se para as variáveis com melhores valores de r^2 , mesmo estes valores demonstram sua imprecisão.

Tabela 7–Equação linear do VANT

Identificação		Modelo	r^2 ajustado
Área 1	B1	$Ph = 6,505083959 + (-0,008454172) \cdot 157$	5,177
	B2	$S = 75.07528 + (-0.22784) \cdot 95$	75.075
	B3	$B = (-0.100367751) + 0.0054519 \cdot 114$	0.5211
Área 2	B1	$SB = 93.08765 + 0.017088 \cdot 171$	93.088
	B2	$Zn = 1.226395 + 0.017088 \cdot 171$	4.14844
	B3	$S = 49.87004 + (-0.05379) \cdot 140$	42.339
Área 3	B1	$Cu = 17.05569 + (-0.034556) \cdot 103$	13.496
	B2	$Zn = 4.428106 + (-0.00304) \cdot 126$	4.0451
	B3	$Sb = 184.6952 + (-0.79933) \cdot 54$	141.53

Fonte: Elaboração da autora (2019).

Após a geração dos modelos foi realizada a espacialização das amostras de solo usando esse modelo. Assim, os valores para cada área das subdivisões estão representados por meio das melhores correlações para as bandas do Vant, ressalva que para as imagens do LandSat-8 não encontraram modelos satisfatórios para representação, dessa forma os mapas representativos do modelo são representados nas Figuras 7, 8 e 9 respectivamente trazem as distribuições para algumas das amostras

Figura 7- Área 1 Espacialização dos atributos ph, S e B

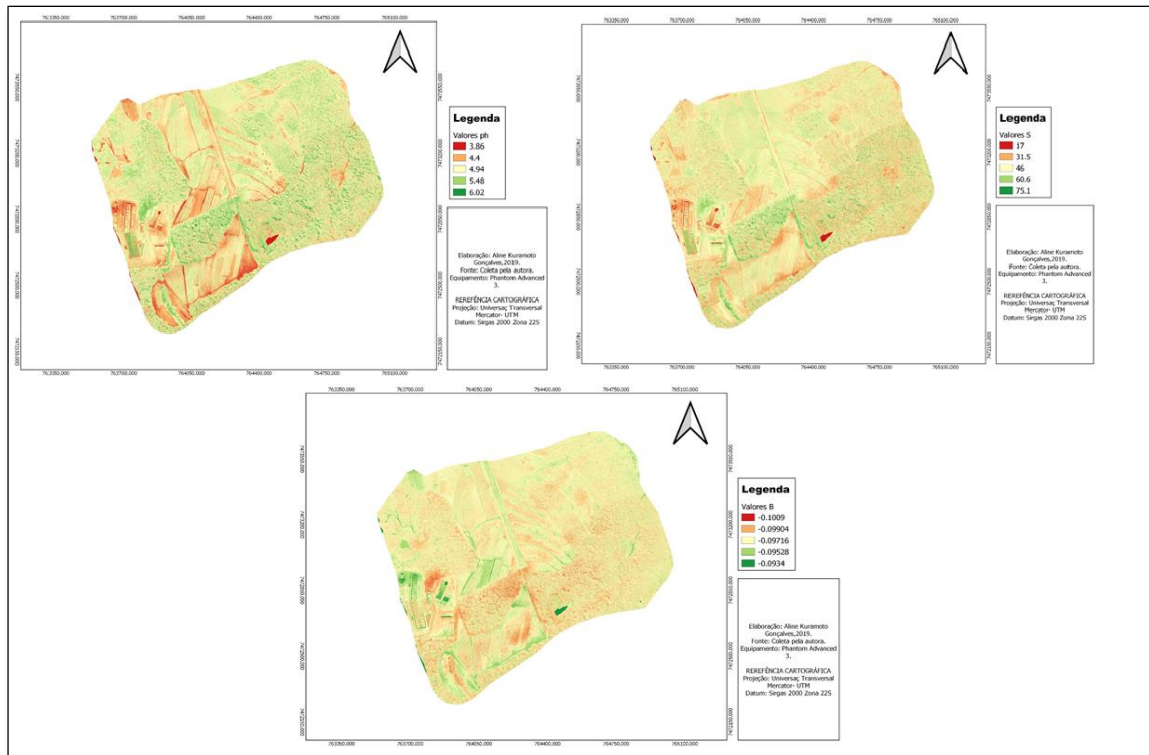


Figura 8- Área 2 Espacialização dos atributos SB e Zn

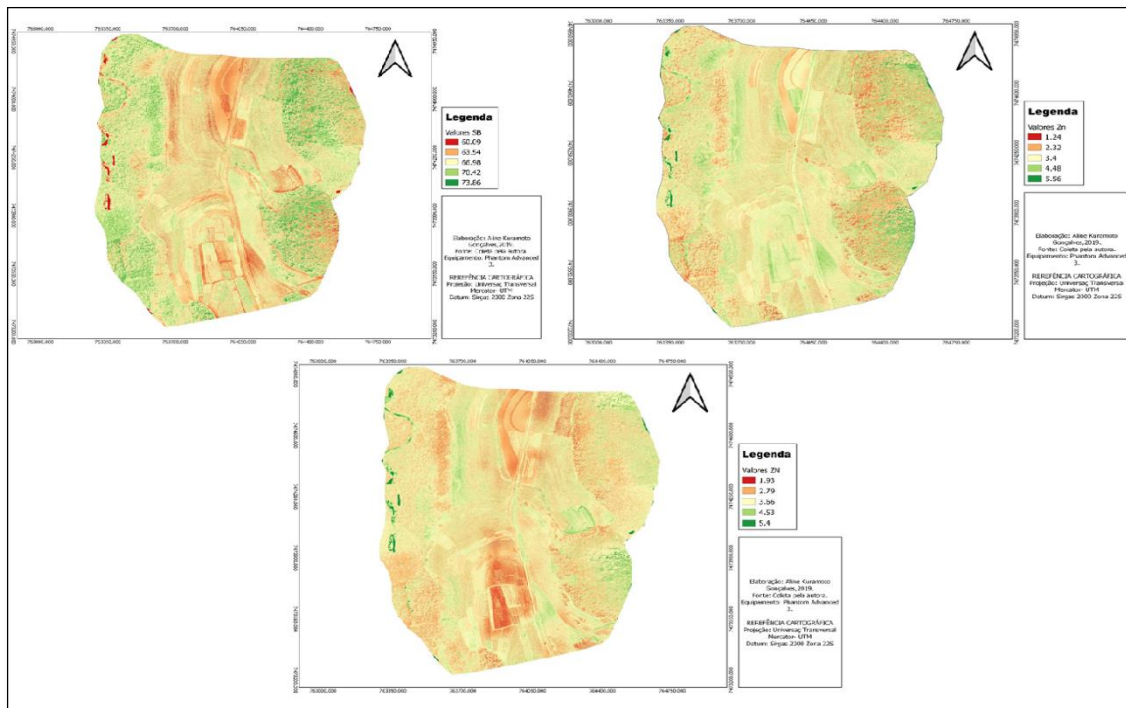
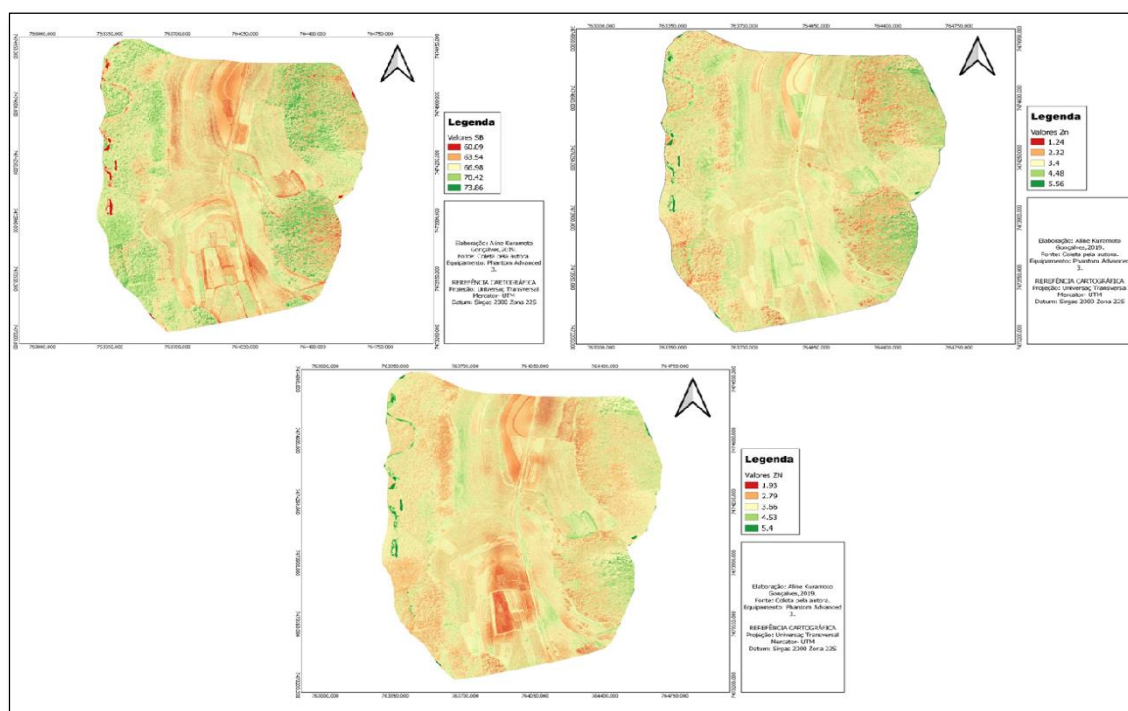


Figura 9- Área 3 Espacialização dos atributos Mg, Cu e SB



Na Tabela 8 apresenta a aplicação da regressão linear, obteve-se o modelo representado, correlacionando os valores de refletância (bandas espectrais) com os valores das amostras de solo para fertilidade. Verificou que as bandas espectrais do satélite foram negativas com a definição da fertilidade do solo através dos valores das amostras coletadas.

Tabela 8 – Equação linear do LandSat

Identificação		Modelo	r^2 ajustado
Área 1	B4	$Zn = 2.8863 + (-0.00267) \cdot 625$	1.2176
	B3	$P = 8.3819668 + 0.029239 \cdot 485$	22.563
	B2	$V\% = 69.58265 + (-0.13205) \cdot 254$	36.042
Área 2	B4	$Argila = 490.9436 + 0.123144 \cdot 507$	553.38
	B3	$K = (-1.8281) + 0.009824 \cdot 547$	3.5456
	B2	$Argila = 421.889 + 0.50695 \cdot 276$	561.81
Área 3	B4	$Manganês = 309.5603 + (-0.12474) \cdot 463$	251.81
	B3	$Argila = 656.8323 + (-0.16016) \cdot 618$	557.85
	B2	$Mg = 34.23009 + (-0.0312) \cdot 229$	27.085

Fonte: Elaboração da autora (2019).

5 CONCLUSÕES

O método de regressão linear, de forma geral, mostrou-se pouco preciso para correlacionar os valores das bandas espectrais (RGB) do satélite LandSat- 8 e do Vant quanto em dados de solo de superfície, visto que uma validação dos dados poderia contribuir para comparação entre as amostras, já que a área em estudo apresenta mudanças contínuas na sua superfície.

Os valores encontrados foram baixos e as hipóteses da pesquisa não mostraram eficiência na sua aplicação para o modelo de regressão gerado na área da Fazenda Lageado.

Entretanto, as imagens de alta resolução do espacial obtidas por Vant possibilitaram a extração de novas informações quanto ao seu uso e detalhamento, que para futuros estudos apresenta-se como um bom subsidio de análise para diversas aplicações para a agricultura e o solo.

Outra limitação foi o número total de amostra e a sua validação com novas coletas para comparação, se demonstrando limitante para a modelagem.

REFERÊNCIAS

- BALDASSARINI, J.S. **Contribuição ao estudo das dinâmicas de perda de solo por meio de técnicas diretas e indiretas de estimação em propriedades rurais de Getulina e Vera Cruz-SP**. 2016. Mestrado (Geografia)- Faculdade de Ciência e Tecnologia, Presidente Prudente, 2016.
- BISSANI, C.A.; CAMARGO, F.A.O.; GAINELLO, C.; TEDESCO, M.J. **Fertilidade dos solos e manejo da adubação de culturas**. Porto Alegre: Metrópole, 2008, 344p.
- BOUMA, J. Land quality indicators of sustainable land management across scales. Agriculture. **Ecosystems and Environment**, v. 88, n. 2, p. 129-136, 2002.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, M. A.; DAVIS, C. **Geoprocessamento: teoria e aplicações**. São José dos Campos, 2001.
- CAMPOS, M. C. C. **Pedogeomorfologia aplicada a ambientes Amazônicos do Médio Rio Madeira**. 2009, 206f. Doutorado (Ciências do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesq. Agropec.** v.37, p.1151- 1159, 2002.
- CRESPO, A. A. **Estatística fácil**. São Paulo: Saraiva, 2009.
- DEMATTE, J. A. M.; GENU, A. M.; FIORIO, P. R.; ORTIZ, J. L.; MAZZA, J. A.; LEONARDO, H. C. L. Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoriamento remoto espectral e pelo método convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.39, p.1219-1229, 2004.
- DEMATTE, J.A.M.; A.M.A.TOLEDO.; SIMÕES, M., S. Metodologia para reconhecimento de três solos por sensores: laboratorial e orbital. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.5, p.877-889, 2004.
- DJI. **SZ DJI Technology Co. Ltd.** Phantom 4. 2019. Disponível em: <<https://www.dji.com/br>>. Acesso em: Jan. 2019.
- EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2006, 306p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1997. 212p.

- FIORIN, J. E. **Manejo e Fertilidade do Solo no Sistema Plantio Direto**. Passo Fundo: Berthier, 2007.
- FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento Remoto em Agricultura**. São José dos Campos: Oficina de Textos, 2017.
- FREIRE, O. **Solos das regiões tropicais**. Botucatu: FEPAF, 2006.
- GATRELL, A. C. *Geographies of Health: An Introduction*. **Blackwell Publishers**, Oxford, UK, 2002.
- GUYOT, G.; GU, X.F.; WEISS, M & BARET, F. Du signal satellitaire à la reflectance au sol: problèmes direct et inverse. *Photointerp.*, 32:119-137, 1996.
- HARTEMINK, A. E. Soil chemical and physical properties as indicators of sustainable land management under sugar cane cultivation in Papua New Guinea. **Geoderma**, v. 85, p. 283-306, 1998.
- HOFIG, P. **Mapeamento digital de solos e o mapa de solos como ferramenta para classificação de aptidão de uso das terras**. 2014. Mestrado (Agronomia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Carta topográfica**: folha de Botucatu (SF- 22- R-IV-3). Serviço gráfico do IBGE, 1969. Escala 1:50.000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Monitoriamento da variação das coordenadas das estações das coordenadas SIRGAS 2003 a 2010**. Serviço gráfico do IBGE, 2003.
- JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente**: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.
- LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2. ed. rev. aum. São Paulo: Editora UNESP, 2003.
- LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. **Krigagem Indicativa aplicada à elaboração de mapas probabilísticos de riscos**. Rio Claro: DGA, IGCE, UNESP, 2002.
- LEPSCH, I. F. **19 lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LEPSCH, I. F. **Formação e conservação dos solos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.
- LEVIN, J. **Estatística Aplicada a Ciências Humanas**. 2a. Ed. São Paulo: Editora Harbra Ltda, 1987.

- LILLIEFORS, H. W. On the Kolmogorov-Smirnov test for normality with mean and variance unknown. *Journal of the American Statistical Association*, Washington, vol. 62, p. 399-402, 1967.
- LONGHITANO, G.A. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**.2010. Mestrado (Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- LOPES, A. S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 1995. 186 f. Curso de Ciência do Solo -Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.
- LUCHESI, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 2002.
- MEDEIROS, F.A. et al.Utilização de um veículo aéreo não-tripulado em atividades de imageamento georeferenciado. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.38, n.8,2008.
- MELLO, A. F. et al. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1983.
- MELLO, C.R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas.2003. **SciELO**. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n5/v27n5a17.pdf>>. Acesso em Dez.2018.
- MENDES, A. M. S. **Introdução a fertilidade do solo**. 2007. 64 f. Tese (Doutorado em Manejo e Conservação do solo)- Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Bahia, Barreiras, 2007.
- MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. do C. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.
- MOLIN, J.P.; AMARAL, L.R.; COLAÇO, A.F. **Agricultura de Precisão**. São Paulo : Oficina de Textos, 2015.
- MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Minas Gerais: UFV, 2003.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 2008.
- OLIVEIRA, P. T. S. et al. Erosion risk mapping applied to environmental zoning. **Water Resources Management**.v. 25, p.1021–1036, 2011.
- OLIVEIRA, R.B.S. **Análise da fertilidade de solos usando imagens de vant e rapideye**.2018.39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2018.

- PENACHIO, S. M. **Potencial de permeabilidade do solo por meio de índices de vegetação na fazenda Lageado**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017.
- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T.M. **Sensoriamento Remoto da Vegetação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.
- POTTER, M.B. **Análise comparativa entre amostragem de solo convencional e amostragem de solo para agricultura de precisão**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agricultura de Precisão) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2014.
- QGIS DEVELOPMENT TEAM. QGIS. Versão 3.4. 2018. <http://qgis.org/>.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2018. <http://www.R-project.org>.
- RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991.
- RIBEIRO JUNIOR, P.J. **Métodos geoestatísticos especial de parâmetros do solo**. 1995. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**. 2005. Disponível em: <
http://www.geografia.fflch.usp.br/publicacoes/RDG/RDG_16/Roberto_Rosa.pdf>.
Acesso em: dez.2018.
- SCHAFFRATH, V. R.; TORMENA, C. A.; GONÇALVES, A. C. A.; FIDALSKI, J. Variabilidade e correlação espacial de propriedades físicas de solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.32, p.1369-1377, 2008.
- SERATO, D. S. **Mapeamento de solos no município de Monte Carmelo-MG**. 2017, 177f. Dissertação (Mestrado); Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia/MG.
- SILVA, A. B. **Sistemas de informações geo-referenciadas: conceitos e fundamentos**. Campinas: Editora da Unicamp, 2003.
- soil survey. **European Journal of Soil Science**:2000.
- TORRES-SÁNCHEZ, J. et al. Multi-temporal mapping of the vegetation fraction in early-season wheat fields using images from UAV. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 103, p. 104–113, 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. USGS 2013. **Landsat Project**

Description. Acesso em: nov.2018.

WHITE, R. E. **Princípios e práticas da ciência do solo:** o solo como um recurso natural. 4. ed. Oxford (Inglaterra): Andrei, 2009.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade.** 2001. 114 f. Tese (Livre-Docência em Levantamento do solo e Fotopedologia) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.