



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA – IG
CURSO DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRAFICA
CAMPUS MONTE CARMELO

RAFAEL BORGES SILVA DE OLIVEIRA

ANALISE DA FERTILIDADE DE SOLOS USANDO IMAGENS DE VANT E RAPIDEYE

MONTE CARMELO

2018

RAFAEL BORGES SILVA DE OLIVEIRA

ANALISE DA FERTILIDADE DE SOLOS USANDO IMAGENS DE VANT E RAPIDEYE

Projeto apresentado na disciplina: Trabalho de Conclusão de Curso II, como pré-requisito para obtenção do certificado de conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva

Coorientador: Ms. Douglas Santana Serato

MONTE CARMELO

2017

RESUMO

Com o avanço computacional, as técnicas de mapeamento se difundiram e na atualidade são usadas em diversos tipos de trabalhos que envolvam dados qualitativos e quantitativos. O emprego de tais técnicas, aliado ao uso de imagens digitais, pode proporcionar uma melhoria significativa na produção de alimentos nas propriedades rurais, auxiliando nas práticas agrícolas. O mapeamento por meio da análise espacial do solo constitui em uma poderosa alternativa para a instrumentalização da mecanização agrícola, pois através da espacialização do solo, por meio de interpolação de dados espaciais, é possível identificar áreas com deficiência ou falta de nutrientes, apontando a necessidade de correções de solo, localmente, evitando gastos elevados com a aplicação em toda a área, como é feito tradicionalmente. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o uso de imagens orbitais e fotos aéreas coletadas a partir de veículos aéreos não tripulados (VANT) e por satélite *Rapideye* no processo de mapeamento da fertilidade dos solos em propriedades rurais. A área de estudo está localizada nas proximidades da unidade Araras, do campus Monte Carmelo/UFU. Para tanto, será analisada a existência de correlação da resposta espectral dos solos, nos comprimentos de ondas do visível e infravermelho, com os parâmetros de fertilidade dos solos, coletados e analisados em laboratório, para a geração de um modelo que permita a espacialização dessa variável (fertilidade). Embora o número de amostras seja reduzido (20 amostras), o estudo mostrou, por meio da análise visual e quantitativa dos resultados (RMSE = 18.42), que a metodologia é promissora (RMSE < 20, intervalo de classificação da fertilidade), podendo ser mais acurada com a inserção de novas amostras.

Palavras-Chave: Fertilidade de solos; Vant; Regressão Linear Múltipla.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	5
1.1 OBJETIVOS.....	6
1.1.1 Objetivo Geral.....	6
1.1.2 Objetivos Específicos.....	6
1.2 JUSTIFICATIVA.....	7
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	8
2.1 FERTILIDADE DO SOLO.....	8
2.1.1 Índice de Fertilidade e Nutrientes do Solo.....	9
2.1.2 Coleta e Amostragem do Solo.....	12
2.2 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT).....	13
2.3 SATÉLITE <i>RAPIDEYE</i>	14
2.4 GEOESTATÍSTICA.....	16
2.4.1 Regressão Linear Múltipla.....	17
3. MATERIAL E MÉTODO.....	18
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	18
3.2 MATERIAL.....	19
3.3 MÉTODO.....	20
3.3.1 Coleta, Análise e Preparação dos Dados de Solos e Imagens Digitais.....	20
3.3.2 Geração dos Modelos de Especialização da Fertilidade dos Solos.....	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 RESULTADOS COM A IMAGEM <i>RAPIDEYE</i>	24
4.1.1 Geração do Modelo de Regressão com Imagem <i>Rapideye</i> x Fertilidade de Solos.....	25
4.1.2 Verificação dos Erros na Geração do Modelo.....	26
4.1.3 Validação dos Resultados Obtidos com o Modelo Gerado – <i>Rapideye</i>	27
4.2. RESULTADO COM A IMAGEM VANT.....	29
4.2.1 Geração do Modelo de Regressão com Imagem VANT x Fertilidade de solos.....	29
4.2.2 Verificação dos Erros na Geração do Modelo.....	29
4.2.3 Validação dos Resultados Obtidos com o Modelo Gerado.....	30
5. CONCLUSÃO.....	32
6. RECOMENDAÇÕES.....	33
REFERÊNCIAS.....	34

1. INTRODUÇÃO

O solo é uma estrutura que sofre transformações ao longo do tempo por meio da influência de fatores naturais do meio como, geológicos, topográficos, climáticos, temporais e pela intervenção humana. Diante das variações no relevo ao longo do tempo seja por erosão, lixiviação ou por ações antrópicas, como o manejo e demais práticas agrícolas destinadas ao preparo do solo, evidencia a variabilidade existente nas propriedades de um solo. Assim, é fundamental conhecer as características deste solo quando se deseja destinar seu uso à práticas agrícolas.

Um solo é composto por variados componentes químicos, físicos e biológicos. Essa variabilidade de composição é causada por uma série de fatores, que envolvem os componentes químicos, geológicos, climáticos, dentre outros. Levando em consideração essa variabilidade espacial dos componentes do solo, é possível compreender aspectos da evolução dos níveis de fertilidade bem como os índices de produtividade provenientes da produção de alimentos exercidas sobre um solo.

Com o desafio de garantir a demanda de alimentos em um mundo com o aumento crescente da população a cada ano, com recursos finitos, somado à dificuldade de prevenção às ações antrópicas, evidencia a necessidade crescente pela alta produção de alimentos, em pequenas áreas, fato que gera a necessidade de manejo adequado dos solos. Essa demanda crescente mostra a dependência econômica dos países pela atividade agrícola e a consequente preocupação com os problemas ambientais, buscando a preservação dos recursos finitos.

Fatos estes estimularam a busca de alternativas pelos produtores rurais, com intuito de garantir a produção e atender a demanda de alimentos da população, visando melhor custo benefício com a implantação de novas tecnologias no manejo do solo. Neste cenário, surge o interesse em avaliar a qualidade do solo buscando o melhoramento da produção por meio da análise e correção deste, otimizando a aplicação de fertilizantes, reduzindo custos e problemas ambientais, como o desmatamento de novas áreas para plantio.

No uso de novas tecnologias na prática de produção de alimentos tradicionais, entre elas o plantio direto, rotação de culturas e realização de análises de solo, deve se levar em consideração a existência da variabilidade espacial dos atributos do solo, o que gera a necessidade de conhecimento detalhado da mesma. Assim, deve ser incorporado no planejamento do manejo das culturas, tratar o solo de maneira diferenciada, em cada porção

da área, em busca da uniformidade no uso de fertilizantes, aumentando sua eficiência, bem como a máxima exploração do potencial produtivo.

O potencial produtivo de um solo permite associar que sua produtividade pode depender diretamente de sua fertilidade. É fato que o uso de um solo fértil nem sempre implica na obtenção de alta produtividade, pois devido à variabilidade das características de um solo, se têm casos em que solos férteis apresentam impedimentos físicos devido a fatores como restrições ao transporte, bem como o desenvolvimento do sistema radicular em razão de altos teores de argila, declividade e alta compactação. Porém, um solo produtivo deve obrigatoriamente apresentar alta fertilidade, seja natural ou previamente corrigido.

Neste contexto, se existe a proposta de aumento da produção, então surge a necessidade de demanda pelo manejo do solo, focando na localização dos pontos de deficiência das propriedades do solo, para a conseqüente aplicação de fertilizantes na proporção correta, buscando a homogeneização do plantio de culturas sobre este solo, tendo em vista que a correta correção dos solos proporciona o aumento da produtividade.

A partir disso, surge a seguinte pergunta: é possível espacializar a fertilidade dos solos a partir de um conjunto de amostras e de parâmetros espectrais dos solos? Assim, propõe-se nesse estudo a elaboração de um modelo que espacialize a fertilidade do solo, considerando a análise de suas propriedades físicas e sua resposta espectral obtida a partir de imagens VANT e orbitais. O mapa temático gerado é uma ferramenta importante no planejamento das ações de correção de solo, em grandes propriedades, melhorando a eficiência na produtividade agrícola.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar e modelar a fertilidade do solo em área rural usando imagens VANT e orbitais.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o êxito do projeto propõe-se:

- Ajustar o sistema de referência da ortofoto gerada por VANT, da imagem orbital e das amostras;
- Correlacionar parâmetros físicos/químicos dos solos com informação espectral de imagens digitais para geração do modelo de espacialização da fertilidade desse solo;

- Analisar os resultados do modelo gerado com as amostras coletadas para validação do modelo.

1.2 JUSTIFICATIVA

É fato que o ser humano necessita do consumo de variados alimentos diários para sua sobrevivência, o que acarreta em uma constante demanda de alimentos. O problema surge no local onde habita o ser humano, o planeta Terra. Considerando toda a sua estrutura geológica, desde o núcleo, as sucessivas camadas internas até a superfície física, a Terra sofre diversas transformações em sua estrutura ao longo do tempo, sendo estas causas naturais ou por interferência humana, além da disponibilidade limitada de seus recursos.

Neste momento evidencia a problemática, pois em um planeta que sofre com ações antrópicas e de recursos finitos em um cenário de tendência ao longo dos anos ao crescimento populacional, gera na atualidade, e estima ainda maior no futuro, a falta de alimentos para consumo humano, de forma que atenda a demanda pensando na questão sustentável no ato da produção.

Sendo assim, mostra a necessidade de avaliar as propriedades do solo sobre a superfície física, buscando além do melhoramento da produção de alimentos, reduzir custos e os problemas ambientais bem como avaliar o uso de novas tecnologias para detecção de deficiência neste solo pelas suas propriedades obtendo uma análise espacial da sua fertilidade por meio das técnicas de sensoriamento remoto, de VANT, e uso do Sistema de Posicionamento Global - *Global Navigation Satellite System* (GNSS), na obtenção de amostras para resolver a problemática da variabilidade, determinando as devidas correções em diferentes áreas no solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FERTILIDADE DOS SOLOS

Historicamente sabendo da necessidade de produzir em escala, considerando variáveis como o tempo de produção, custo de implantação ou a relação variabilidade nas propriedades do solo com a qualidade do mesmo no uso para atividades agrícolas. A busca pelo máximo potencial produtivo de um solo, que traga consigo maior custo benefício ao produtor rural, faz com que o uso de fertilizantes na proporção correta e a mecanização do processo, garantam a qualidade na produção de alimentos e reduz os custos de produção. Assim, consegue atender tanto a demanda de alimentos à população bem como otimizar o processo produtivo nas práticas agrícolas (BOTTEGA *et.al.*, 2013).

O conhecimento detalhado da variabilidade espacial dos atributos da fertilidade do solo e da produtividade pode aperfeiçoar as aplicações localizadas de corretivos e fertilizantes, melhorando dessa maneira o controle do sistema de produção das culturas, reduzindo os custos gerados pela alta aplicação de insumos e a degradação ambiental provocada pelo excesso de nutrientes (VARASCHINI, 2012; SILVA *et al.*, 2010).

Compreender o uso do solo para fins de produção e avaliar como as propriedades químicas e físicas do solo estão distribuídas em uma determinada área se torna necessário, mesmo que o manejo do solo adotado pelos agricultores seja uniforme em uma determinada área ou gleba. A resposta a este manejo deverá ter cenário diferente entre as porções ou glebas deste solo. Isso se dá em função das próprias características do solo na área e as várias ações antrópicas ocorridas no decorrer do tempo como erosões, compactações, sedimentações e também proveniente das ações de manejo com erros cometidos na aplicação de fertilizantes o que influencia na fertilidade bem como a qualidade deste solo (VARASCHINI, 2012).

Entender a variabilidade espacial das propriedades do solo é importante para a agricultura, pois indica os efeitos dela sobre o rendimento das culturas, o que proporciona buscar meios de minimizar seu efeito buscando a otimização dos sistemas de produção agrícola. O estudo da variabilidade espacial da fertilidade do solo de uma área pode ser obtido por meio de amostragem e/ou análise do solo desta área. Desse modo, é possível analisar a fertilidade do solo de forma localizada sobre diferentes porções dentro da área, por meio da elaboração de mapas de fertilidade, detectando as áreas com déficit de fertilizantes (CAVALCANTE *et. al.*, 2007; NETO *et. al.*, 2011).

A disposição e classificação dos nutrientes no solo podem ser “não-minerais” e minerais. São exemplos 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 o 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), molibdênio (Mo) e cloro (Cl) (LOPES, 1995; MENDES, 2007).

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 certo 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 torná-lo fértil, porém, em relação a outro nutriente não, pois a resposta pode ser diferente em outro tipo de solo (LOPES, 1995).

Destaca-se que existem diversas formas de se obter a fertilidade de um solo. Podem ser definidas por fertilidade potencial, atual e natural, sendo esta última bastante utilizada na avaliação e classificação de solos, devido ao fato de corresponder à fertilidade de um solo quando ainda não sofreu nenhum manejo, ou seja, não foi trabalhado e, portanto, não sofreu interferência antrópica recente (LEPSCH *et. al.*, 1983).

A espacialização da fertilidade dos solos é uma tarefa útil, mas é onerosa e morosa, quando executada pelas técnicas convencionais, com coletas de várias amostras de solo, em pontos predeterminados em uma área. Atualmente essa espacialização tem sido realizada com apoio de análises estatísticas como por exemplo, a geoestatística, que é um mecanismo utilizado para caracterizar a variabilidade espacial do solo, visando sua modelagem por meio da análise de suas propriedades e distribuição espacial na área. Na geoestatística são utilizados os métodos de interpolação, como a regressão linear múltipla, que definem o grau de dependência no espaço de uma variável que pode ser medida além do domínio de cada amostragem (MANZIONE *et. al.*, 2002; BOTTEGA *et.al.*, 2013).

2.1.1 Índice de Fertilidade e Nutrientes do Solo

Segundo Ronquim (2010), para se entender o comportamento dos nutrientes no solo é necessário conhecer que em todos os tipos de solos agrícolas existem algum teor de partículas

de argila e matéria orgânica. Além disso, um solo é composto por partículas presentes nos nutrientes que compõem este solo, os quais carregam consigo cargas positivas e negativas, sendo eles: os cátions e ânions. Assim, por definição os cátions são retidos pela argila e pela matéria orgânica para resistir a processos como a lixiviação ou erosão, por exemplo, e os ânions são repelidos quando as partículas de argila e matéria orgânica apresentarem carga negativa e as bases (K, Ca, Mg) apresentarem carga positiva, uma vez que as bases são retidas nas partículas de argila e matéria orgânica, por atração magnética, fato que evidencia a relação de que os pólos diferentes se atraem e pólos iguais se repelem.

Dentre os nutrientes presentes no solo têm-se o nitrogênio (N), que apresenta interações com P, S e K, onde a absorção do (NH_3^-) estimula a absorção de cátions, enquanto que a absorção de (NH_4^+) pode restringir a absorção de cátions como o (Ca^{2+}), por exemplo. O fósforo (P) pode apresentar interações com N, S e micronutrientes como: Cu, Fe, Mn e Zn. Assim como o P e a maior parte do N, o S é absorvido do solo sob a forma aniônica de sulfato (SO_4^{2-}) e, posteriormente, reduzido e incorporado a compostos orgânicos. O enxofre (S) pode apresentar interações notadamente com o N, P, B e Mo. O Mg apresenta interações com Ca e K (OLIVEIRA *et al.*, 2007).

O índice de fertilidade dos solos (V) é denominado de saturação por bases e comumente representado na forma de porcentagem (V%). Esse índice é um procedimento matemático que reflete a proporção de nutrientes como o cálcio, magnésio e potássio, sódio, hidrogênio bem como a capacidade de troca de cátions (CTC), que considerando a acidez do solo, deve ser analisado a CTC total (T) obtida à pH 7.0, que é a capacidade do solo para reter e trocar cátions na forma de energia em que as suas cargas positivas variam causando a substituição por outras partículas no solo cuja carga é negativa. A CTC é o parâmetro mais utilizado nos levantamentos de solo no Brasil e subutilizado em levantamentos de fertilidade, uma vez que o conceito de saturação por bases depende do conceito de CTC envolvido (LOPES,1995). No Quadro 1 é apresentada a classificação de CTC.

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 para 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).

A saturação por bases determina em que condições se apresenta, em cada porção da área, a fertilidade do solo. Os solos podem ser divididos em dois grupos eutróficos (férteis), com índice ($V\%$) $\geq 50\%$, e distróficos (pouco férteis) com índice ($V\%$) $< 50\%$. Assim, em dois solos com diferentes graus de saturação de bases, o solo distrófico ($V < 50\%$) aparentemente apresentaria menor capacidade de ceder nutrientes, comparado ao eutrófico ($V \geq 50\%$). Um solo com índice de fertilidade baixo representa que 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 é mostrada 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. Esse índice é calculado com base na Equação 1 representada abaixo.

$$V(\%) = 100 \frac{SB}{T} \quad (1)$$

onde:

V = Valor da saturação das bases trocáveis do solo (índice de fertilidade dos solos), em porcentagem, antes da correção.

SB = Soma por bases, que analisa os atributos do solo ($Ca^{2+} + K^+ + Mg^{2+}$ (mmolc dm⁻³)).

T ou CTC = Capacidade de troca de cátions do solo SB + (H + Al) (mmolc dm⁻³).

A soma por bases trocáveis (SB) ($cmol_c / dm^3$ ou $mmol_c / dm^3$), é aquela que reflete a soma dos nutrientes presentes no solo tais como o Ca, Mg, K, P, todos de forma trocável no complexo de troca de cátions do solo. Por meio da SB é possível indicar o número de cargas negativas dos colóides que estão ocupados por bases. Assim, em comparação com a CTC efetiva e Al trocável, a SB permite calcular a porcentagem de saturação por alumínio e em comparação com a CTC a pH 7.0, permite avaliar a porcentagem de saturação por bases (V%) desta CTC, parâmetro indispensável para o cálculo da calagem que é o processo providencial para a correção da acidez de um solo (CAMARGO *et al.*, 1982), representado pela Equação 2.

$$SB = Ca + Mg + K + Na \quad (2)$$

2.1.2 Coleta e Amostragem de Solo

Na busca pelo conhecimento detalhado do solo de uma área, o produtor rural tem o intuito em detectar focos de deficiência de minerais e posteriormente aplicar a correção apropriada, visando melhorar a eficiência no seu plantio. Assim, faz-se necessário identificar e analisar os atributos químicos do solo, por meio de sua amostragem. Vale ressaltar que as amostras podem ser retiradas pelo método tradicional (RAIJ, 1991), onde são retiradas aleatoriamente dentro de uma determinada área, e as recomendações são feitas com base na média química dos resultados das análises.

Amostragem consiste em obter uma porção representativa de uma população (conjunto de elementos ou indivíduos) em estudo, que tenha entre si, uma característica em comum. As populações podem ser homogêneas, quando constituída de elementos ou unidades idênticas,

ou heterogênea, quando constituída de elementos que diferem entre si. Nesse caso de solos, quanto maior a heterogeneidade da população, maior deverá ser o número de elementos a serem amostrados para a obtenção de uma estimativa que aproxime do verdadeiro valor médio (parâmetro) para uma determinada característica da população em estudo. Neste sentido, os solos variam intensamente a curta distância, tanto em superfície como em profundidade. A amostragem tem então como finalidade estimar os parâmetros de uma população com uma precisão que satisfaça às necessidades do uso das informações ou do estudo específico, a um custo mínimo (OLIVEIRA *et al*, 2007).

Na avaliação de fertilidade de solos, a amostragem de um solo é a primeira e principal etapa a ser realizada, pois é por meio de análise química da amostra do solo que se realiza a interpretação para a posterior realização do manejo necessário, indicando as doses de corretivos e/ou fertilizantes que deverão ser aplicados, bem como o devido local. É preciso ressaltar que uma amostragem inadequada do solo resulta em uma análise inexata e em uma interpretação equivocada que pode não demonstrar a realidade. Dessa forma, em laboratório, não se consegue obter êxito ao minimizar ou corrigir os erros cometidos na amostragem do solo, podendo causar graves prejuízos econômicos ao produtor e ao meio ambiente (CANTARUTTI *et al*, 2008).

Para que a amostra do solo seja representativa deve se buscar a homogeneidade do solo na área amostrada. Assim, para melhor representação, a área deverá ser subdividida em glebas homogêneas, sendo que nesta subdivisão devem ser considerados fatores limitantes que impedem para uma boa fertilidade no solo como a vegetação, posição topográfica, características como a cor, textura, condição de drenagem deste solo e o histórico da produtividade observada, rotação de culturas bem como o uso de fertilizantes na área (GUARÇONI M. *et al*.,2006, CANTARUTTI *et al*., 2008).

2.2 VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANT)

Os VANT's foram desenvolvidos no Brasil na década de 1980, inicialmente com intuito em auxiliar no ramo militar, por meio do projeto Acauã e desenvolvido pelo Centro Técnico Aeroespacial (CTA), que destinava as pesquisas e uso de VANT's a atividades militares. Contudo, seu uso vem sendo amplamente difundido para fins comerciais e pesquisas, devido a facilidades no levantamento com e o desenvolvimento de softwares de processamento simplificados, sistemas globais de navegação e sofisticados sensores (JORGE; INAMASU; CARMO, 2011).

Os VANT's representam a mais recente tecnologia no mercado de obtenção de imagens por meio de fotografias com alta resolução espacial. Recentemente as atenções se voltaram ao uso de fotografias aéreas na detecção de problemas ligados a produção agrícola (JORGE e TRINDADE JÚNIOR, 2002). Neste contexto, existem vários desafios e perspectivas para a agricultura ao se tratar da obtenção do imageamento hiperespectral bem como o imageamento de práticas agrícolas e uso do solo.

Recentemente, esta técnica foi dividida em aeromodelos para fins recreativos e aeronaves remotamente pilotadas (RPA) utilizadas para âmbito comercial, corporativo ou experimental. Os RPA podem ser classificados com base no seu peso de voo e determinados por classes. Assim, conforme sua classificação têm-se a classe 1, cujo peso máximo de decolagem é de mais de 150 quilogramas (Kg), classe 2, entre 25 kg até 150 kg de capacidade e classe 3, para até 25 Kg. De acordo com a ANAC (2017), os RPAs podem sobrevoar entre 30 e 120 m de altitude. No que diz respeito ao voo, o VANT pode ser de forma autônoma ou manual, conduzidos por um piloto no solo, por meio de um controle remoto ou pré-programados e auxiliados por GPS.

Oliveira; Amorim (2015) classificam os VANT's em três tipos de grupos: de asas fixas, rotatórias, e os dirigíveis conhecidos como, mais leves que o ar. Cada grupo possui especificações que variam de acordo com a empregabilidade e autonomia de voo. O equipamento de voo contém câmeras com sensores espectrais (RGB) com filtro para captação de bandas. Porém esses filtros possuem diferentes comprimentos de onda que são convertidos recebendo um filtro infravermelho diretamente no sensor para captar a banda espectral NIR (GEMIGNANI, 2015).

É preciso ressaltar às diversas vantagens do uso de VANT para mapeamento de solos, como a capacidade de percorrer uma distância considerável com segurança, tempo reduzido e menor custo, comparado, por exemplo, com o uso de um helicóptero tripulado ou a aquisição de imagens de satélite. A partir de uma imagem aérea é possível fazer a identificação de diversas tipologias do uso da terra em uma região (SILVA *et. al.*, 2015).

A justificativa do uso dos VANT's na produção agrícola se baseia no fato de que as imagens obtidas por sensoriamento remoto têm tido grande sucesso no estudo da vegetação por apresentar características como resolução espacial submétrica (LINHARES *et al.*, 2014) e altíssima resolução temporal, que é a principal deficiência das imagens orbitais.

2.3 SATÉLITE RAPIDEYE

Os recentes avanços tecnológicos na agricultura, sobre as práticas de obtenção de informações a respeito do solo, evidenciam o aprimoramento constante das informações sobre o manejo deste solo, visando à interpretação do contexto em que se encontra o solo, bem como os levantamentos necessários para os diversos fins de uso de solo, como a análise e monitoramento de áreas de cultivo agrícola. Assim, a utilização de tecnologias como o sensoriamento remoto, que incorpora informações espaciais, se tornou uma ferramenta útil para o refinamento de mapas de solos e de uso do solo, uma vez que os dados de sensoriamento remoto fornecem covariáveis para o mapeamento de solos (JUPOVA *et.al.*, 2009).

No contexto de mapeamento de solos, vêm sendo cada vez mais disseminado o uso de sensores remotos, como aqueles acoplados nos satélites da série *Rapideye*. O sistema operacional do *Rapideye* apresenta sensores com resolução espectral a bordo de cinco satélites em uma mesma órbita. Apresenta também resolução temporal melhorada justamente pela colocação de cinco satélites na mesma órbita, resolução espacial de 5 (cinco) metros e resolução radiométrica (16 bits). Proporciona as melhores resoluções espacial e temporal, além de uma banda na região da borda do vermelho, comumente conhecida como “Red Edge” (COSTA *et al*, 2016).

A banda “Red Edge”, localizada na região da borda do vermelho (faixa de transição entre o vermelho e infravermelho), é propícia para a determinação do estado de saúde fotossintética da vegetação, uma vez que coincide com a região do espectro que favorece o aumento brusco de reflectância da vegetação. Além disso, essa banda tem sido também utilizada com a finalidade de aperfeiçoar o resultado da classificação do uso do solo (SILVA; SANO, 2016).

Em outros estudos, as imagens do satélite *Rapideye* foram utilizadas como auxílio no estudo de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Natura/Pernambuco. As imagens foram analisadas com intuito de conhecimento das características bem como a classificação do uso do solo em uma área. Essa classificação foi realizada com base na coleta de pontos de controle em campo, formando polígonos sobre essa área, para representação das classes utilizadas no estudo (NETO *et al.*; 2011). O sistema sensorial da série *Rapideye* está representado no Quadro 3.

Quadro 3 - Características técnicas gerais dos satélites *Rapideye*.

Itens	Descrição	
Bandas Espectrais	Banda Blue (1)	Faixa do Espectro (nm) 440-510
	Green (2)	520-590
	Red (3)	630-685
	Red-Edge (4)	690-730
	Infravermelho (5)	760-850
Espaçamento de Pixel 6,5 m no Nadir	Espaçamento de Pixel 6,5 m no Nadir	
Tamanho do Pixel (ortorretificada)	5,0 m	
Tamanho da Imagem	Cerca de 77 km de largura, comprimento entre 50 e 300 km, 462 Mbytes/25 km ao longo da órbita para 5 bandas	
Tempo de Revisita	Diariamente fora do nadir / 5,5 dias (no nadir)	
Radiometria	12 bits	

Fonte: Adaptado de *Rapideye* (2012).

Com base nas características das imagens *Rapideye*, por meio das quais é possível obter o mapeamento digital de solos, com base na condição de predizer variações nas características do solo, é possível defini-las como um potencial fornecedor de covariáveis, que são variáveis capazes de analisar as propriedades de um solo que demonstram a sua variabilidade espacial. É preciso ressaltar que as imagens de satélite *Rapideye* foram cedidas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), por meio do Contrato MMA nº 30/2012, pela Empresa Santiago & Cintra Consultoria, distribuidora oficial das Imagens *RapidEye*, e autorização concedida perante à Embrapa Solos e à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) (ANTUNES *et al.*, 2013; COSTA, 2015).

2.4 GEOESTATÍSTICA

A geoestatística iniciou-se por meio de estudos do matemático sul-africano D. G. Krige, onde foi observado que a variação dos atributos do solo poderia ser entendida contrariando os métodos clássicos de análise estatística, se levado em consideração as distâncias entre as amostras (VIEIRA, 2000; CAON, 2012).

Com base nas observações de D. G. Krige, G. Matheron em 1963 desenvolveu a Teoria das Variáveis Regionalizadas, que é o princípio da geoestatística (MIGUEL, 2010). Assim, os métodos adotados pela geoestatística conseguem unir o aspecto espacial com o aspecto probabilístico, baseados na teoria das variáveis regionalizadas.

Foi abordado nos seguintes estudos, a temática da geoestatística relacionado ao fato da possibilidade de espacializar a variabilidade do solo contrastando com a dificuldade de se

modelar a espacialização e conseqüentemente a obtenção o refinamento do manejo deste solo (CORÁ; BERALDO, 2006). Porém, diversos trabalhos têm demonstrado que os atributos do solo das observações vizinhas apresentam dependência espacial, portanto estão correlacionados, necessitando assim de análise geoestatística (VIEIRA *et al.*, 1983; SANTOS; VASCONCELOS, 1987; CORÁ; BERALDO, 2006; MACHADO *et al.*, 2007; GOMES *et al.*, 2008).

A geoestatística abrange a análise dos dados por meio da modelagem de modelos matemáticos como a interpolação por Krigagem. Segundo Vieira *et al.* (1983) e Machado *et al.* (2007) a geoestatística foi usada para avaliar a variabilidade espacial dos atributos do solo. Com isso, analisar a variabilidade dos atributos em diferentes porções de uma área torna se viável o uso nas práticas agrícolas por meio a amostragem deste solo (LIMA *et al.*, 2008).

2.4.1 Regressão Linear Múltipla

A regressão linear múltipla consiste na realização de uma análise estatística para determinar a relação entre a variação de uma variável dependente (Y) com os níveis de variação de uma ou mais variáveis independentes (X) (Oliveira, 2007; Maia, 2017). Para representar essa relação faz se necessário o auxílio do diagrama de dispersão, que consiste em um gráfico onde pontos no espaço cartesiano XY são usados para representar simultaneamente os valores de duas variáveis quantitativas medidas em cada indivíduo do conjunto de dados.

É preciso ressaltar que para definir o modelo deve se levar em consideração o tipo da curva e a equação do modelo matemático que mais se aproxima dos valores obtidos pelo diagrama de dispersão e que os pontos obtidos por ele não se ajustam perfeitamente a curva do modelo matemático, assim apresentando distancias entre eles, fato este acontece devido não ser um fenômeno matemático e sim causado por fatores aleatórios. Assim, a regressão linear múltipla busca determinar um modelo matemático que melhor se ajuste aos valores observados nas variáveis dependentes (Y) com relação as variáveis independentes (X) (LIMA *et al.*, 2013).

Contudo, o modelo matemático mais utilizado para calcular a equação de regressão linear é o método por mínimos quadrados (MMQ), pois neste método, considerando o comportamento de Y pelos níveis de X ser linear, o MMQ permite por meio do grau de associação (R^2), a relação entre Y e X (NEUMANN, 2012) e pode ser representado pela Equação 3.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad (3)$$

onde:

Y = valor observado para a variável dependente Y no i -ésimo nível da variável independente x .

β_0 = constante de regressão.

β_1 = coeficiente de regressão.

β_2 = coeficiente de regressão.

β_n = coeficiente de regressão.

x_i = i -ésimo nível da variável independente x ($i=1,2,\dots,n$).

Os modelos de regressão têm sido utilizados para estimar representações espaciais de solo relacionados a métodos de interpolação. Assim, é possível obter relação entre as propriedades do solo e verificar que este método pode ser aplicado para guiar a amostragem de solos (MOORE *et al.*, 1993).

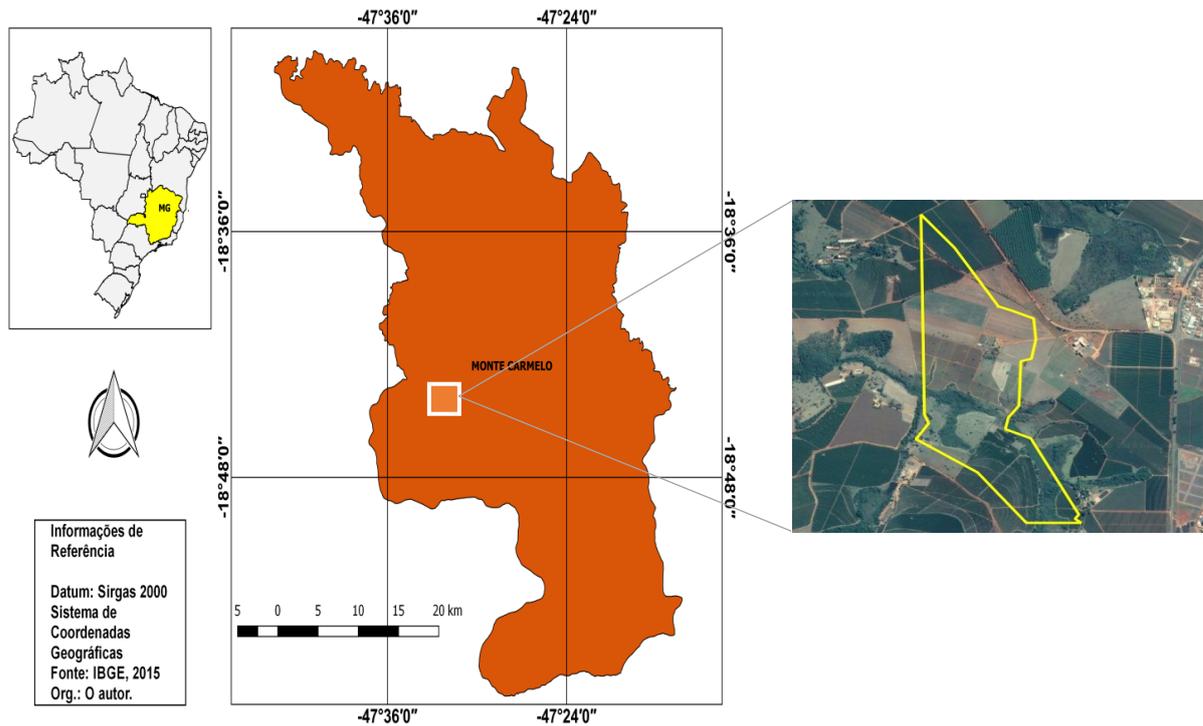
Demattê *et al.* (2004) utilizaram regressão linear múltipla na predição dos valores de oito atributos do solo a partir de sua resposta espectral para classificar o solo com base na seleção das variáveis independentes, bandas e alturas, a serem consideradas no ajuste do modelo de regressão, por meio da análise de cada atributo deste solo.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo tem dimensões de 1000x300m e localiza-se no Estado de Minas Gerais município de Monte Carmelo/MG, nas proximidades da rodovia MG190 e do campus da Universidade Federal de Uberlândia, na unidade Araras.

Figura 1 – Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: O autor.

A temperatura média anual nessa área oscila em torno de 22°C (8°C a 30°C), com precipitação média anual na faixa de 400 a 3.400 mm (INMET, 2017). As coordenadas geográficas centrais são 18°43'46,91"S e 47°31'47,63"W, sendo que a região apresenta um relevo suavemente ondulado, com altitude média de 867 m e apresenta culturas variadas como o milho, café e tomate, além de uma faixa com solo exposto e um pequeno lago.

3.2 MATERIAL

Foi utilizado um Trado do tipo Holandês para coleta de amostras de solo, e um GPS GARMIN OREGON 550 para obtenção das coordenadas geográficas e materiais/instrumentos de laboratório usados nas análises químicas dos solos. Ressalta-se que a análise química foi realizada em laboratório próprio, sem a participação do autor desse estudo.

As fotos aéreas foram coletadas com um hexacoptero X700, composto por duas câmeras Canon XS 360 : uma com sensores sensíveis às regiões do visível e outra com sensor infravermelho.

Foi utilizada uma imagem Rapideye, com as cinco bandas espectrais, coletada em 13 de outubro de 2013, cedida gratuitamente pelo MMA.

Para a execução deste estudo foram utilizados os seguintes softwares:

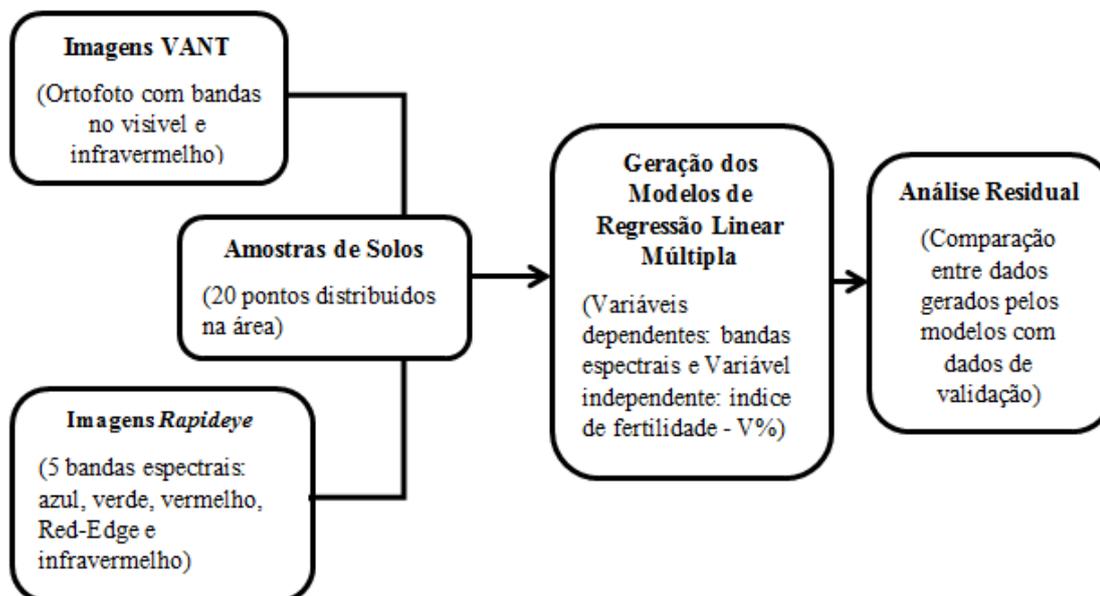
- Software R, para cálculos estatísticos e geoestatísticos.

- Excel, para organização dos dados em tabelas e geração de gráficos.
- Qgis e Agisoft para processamentos das imagens.

3.3 MÉTODO

O método proposto nesse estudo foi dividido em quatro etapas como representado pelo fluxograma abaixo (Figura 3): a) a coleta, análise e preparação dos dados de solos e o processamento das imagens VANT e *Rapideye*; b) a geração do modelo de espacialização da fertilidade dos solos; e c) análise dos resultados.

Figura 3 – Fluxograma da metodologia proposta.



Fonte: O autor.

3.3.1 Coleta, Análise e Preparação dos Dados de Solos e das Imagens Digitais

Para realização do referente trabalho, foram coletadas 20 (vinte) amostras de solo em janeiro de 2017, sendo que a espacialização e a escolha das amostras ocorreram de modo arbitrário, distribuídas em toda a área de estudo, nos locais com pastagem, agricultura e com mata de galeria. As coletas foram realizadas nas profundidades de 0 a 20 cm, com trado do tipo Holandês. Com auxílio do GPS obteve-se as coordenadas geográficas das posições de coletas.

As amostras coletadas foram encaminhadas para Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS), para obter as análises químicas. Foram observados nas amostragens os elementos químicos: K, P, Mg, S, N, Al, H, PH. Por fim, esses valores dos

atributos químicos do solo analisados foram utilizados na determinação dos valores da soma por bases (SB) e do índice de saturação por bases V%, usando o modelo descrito na Equação 1.

O levantamento aéreo com VANT foi realizado em novembro de 2016, com um hexacoptero X700, com altura de voo de 100 metros, mantendo resolução espacial de 4 cm, nas bandas do visível (azul, verde e vermelho) e do infravermelho (IR). Ressalta-se que o processamento e qualidade da ortofoto obtida para geração do modelo não serão discutidos nesse estudo, uma vez que foge do escopo do objetivo geral. Para mais detalhes sobre o assunto, buscar em Pelegrini (2017) e Oliveira (2017). Uma amostra da ortofoto VANT pode ser vista na Figura 4, em uma composição do visível.

Figura 4 – Composição colorida RGB321.



Fonte: O autor

A imagem Rapideye, obtida gratuitamente no site do MMA, é composta por 5 bandas espectrais, e já corrigida geométrica com resolução de 5 metros. A Figura 5 ilustra uma composição falsa-cor (RGB352) da imagem usada nesse estudo.

Figura 5 - Imagem Rapideye da área de estudo.



Fonte: O autor.

As duas imagens (VANT e *Rapideye*) foram ajustadas ao mesmo sistema de referência (UTM, fuso 22, WGS84) usado nas coletas de amostras. Em seguida, para preparação das variáveis, para processamento no software estatístico, em cada posição (coordenadas) de coleta de amostra de solos foi realizada a coleta dos valores digitais correspondentes nas duas imagens digitais: VANT e *Rapideye*. No Quadro 4 pode ser visualizado um exemplo da organização das variáveis correspondentes às respostas espectrais dos solos nos pontos analisados, na imagem VANT. O mesmo procedimento foi repetido para a imagem *Rapideye*, porém, inserindo a banda Red-Edge.

Quadro 4: Representação da resposta espectral das bandas do Visível e IR.

ID	E (UTM)	N (UTM)	V (%)	Azul	Verde	Vermelho	IR
1	233090.663557	7928123.26251	5	251	111	93	116
2	233180.979542	7928094.17894	70	70	189	239	107
3	233322.974708	7928038.1702	42	252	146	63	105
4	233345.300434	7927869.37311	15	74	19	94	101

Fonte: O autor.

3.3.2 Geração dos Modelos de Espacialização da Fertilidade dos Solos

A partir dos dados tabulados iniciou-se a análise estatística para elaboração do modelo proposto, com base na Equação 3. Nesse modelo a variável independente Y corresponde ao valor de fertilidade do solo V% e as variáveis dependentes X correspondem aos valores de

resposta espectral das bandas utilizadas e dos demais valores de elementos químicos amostrados.

Na fase de elaboração dos modelos foram realizados dois testes: a) a geração de um modelo de regressão linear múltiplo com variáveis independentes (X), representadas pelos valores digitais das quatro bandas espectrais (visível e IR) das imagens VANT, e como variável dependente (Y), a propriedade única de fertilidade do solo ou saturação por bases (V); b) a geração de um modelo de regressão linear múltiplo com variáveis independentes (X), representadas pelos valores digitais das cinco bandas espectrais (3 visível, Red-Edge, IR) das imagens *Rapideye*, e como variável dependente (Y), a propriedade única de fertilidade do solo ou saturação por bases (V%).

Em ambos os processos de geração dos modelos foram utilizados 16 pontos amostrais, escolhidos aleatoriamente entre os 20 pontos levantados, mas de forma que cada um representasse um grupo de classificação de V(%), isto é, um ponto que representasse valor de V(%) entre 0 e 20, outro com valor entre 20 e 40, outro entre 40 e 60 e o último entre 60 e 80. Os 4 pontos amostrais restantes foram utilizados no processo de validação dos resultados.

Em seguida, a fertilidade dos solos foi especializada por meio do modelo de regressão linear gerado com base na correlação espacial entre resposta espectral proveniente das imagens *Rapideye* e VANT com os resultados das amostras de solo obtidas por laboratório. Por fim os 4 pontos amostrais usados na validação foram sobrepostos aos mapas temáticos obtidos a partir dos modelos gerados e os seus valores de V% foram comparados com os valores correspondentes medidos nesses mapas. Essa validação será medida pelo erro médio quadrático (RMS) dos resíduos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do método proposto com base na geração de um modelo de análise da correlação espacial entre resposta espectral das imagens digitais VANT e *Rapideye* com os parâmetros/índices de fertilidade e demais minerais presentes no solo além da coleta das amostras aleatórias do solo por diferentes pontos na área de estudo, foi possível obter um mapa de fertilidade do solo por toda extensão desta área.

Conclui se que nenhum dos dois modelos ajustaram bem, devido a baixa quantidade de pontos e amostras de solo analisadas (20 amostras), sendo que na geração do modelo pelo método de regressão linear múltipla foram utilizadas somente 16 amostras e retiradas ainda 4

amostras para validação deste modelo. Este cenário então sugere que seja muito pouco para ajustar bem o modelo. Portanto, os resultados não ficaram tão precisos.

Porém, é preciso ressaltar que as áreas com melhor fertilidade coincidem com áreas de agricultura, com relação às áreas com cobertura vegetal, o solo exposto ou às margens de um pequeno lago. Com relação às imagens VANT e *Rapideye* geradas pelas respostas espectrais das bandas foi possível obter a espacialização da fertilidade do solo por toda a área na geração do modelo proposto e assim os respectivos valores do erro gerado pelo modelo (RMS) para validação apresentaram valores próximos para a imagem VANT e para a imagem *Rapideye*, 19.0467 e 18.4242, respectivamente, apresentando mapas de classes temáticas de fertilidade visivelmente com cenários parecidos.

4.1 RESULTADOS COM A IMAGEM RAPIDEYE

Diante do método apresentado de análise de imagens com base na classificação do uso de solo foi possível analisar as características das imagens do satélite *Rapideye* para o mapeamento da área de estudo avaliando a qualidade dessas imagens quanto a sua ortorretificação em um ambiente basicamente plano e com poucas variações da característica dos solos. Assim, através da resposta espectral das bandas do satélite *Rapideye* responsáveis por gerar a imagem, mapeou-se a área detectando a composição do solo por toda a extensão da área por meio da imagem ortorretificada gerada pelo satélite *Rapideye*.

Contudo, as imagens ortorretificadas do sensor *Rapideye* foram avaliadas quanto à geometria e utilizadas para caracterizar espectralmente alvos conhecidos. Sua resolução espacial é adequada para o mapeamento de áreas agro-silvipastoris com adequada precisão, pois a resolução espectral com uma banda na região do Red-Edge, mais a resolução radiométrica com 16 bits e a resolução temporal melhorada pela colocação de cinco satélites na mesma órbita, fazem deste sensor uma excelente opção para o monitoramento ambiental e de áreas de agricultura, florestais e de pastagens.

Amostras das áreas em que havia plantio de alguma cultura, como por exemplo, o café, mostraram comportamento espectral condizente com aquele esperado para estes tipos de alvos, pois o solo da região é propício ao plantio de café. A resolução radiométrica (16 bits) permitiu obter valores de reflectância com sensibilidade capaz de detectar pequenas diferenças entre os alvos, assim detectando a variabilidade espacial das propriedades do solo.

Como foi dito anteriormente, em uma amostra são analisados os valores de reflectância dos alvos selecionados para avaliar se as curvas de reflectância são comparáveis

com aquelas obtidas dos alvos em questão. Como resultado, curvas espectrais do solo, sem vegetação, apresentam, no intervalo espectral correspondente ao azul, valores de reflexão baixos, os quais aumentam continuamente em direção da luz vermelha e infravermelha (NIR e MIR). Por isso as características do solo puro puderam ser analisadas nestas bandas e correlacionadas com a variável de fertilidade dos solos.

Dentre os parâmetros existentes na composição de um solo seja o tipo de solo ou o tipo e quantidade de um mineral no solo, material orgânico, umidade, rugosidade dentre outros, apresentam diferentes respostas espectrais para cada banda da imagem, com isso influenciam diretamente na fertilidade de um solo ao se usar esse tipo de imagem para analisar fertilidade de solos.

Deve se ressaltar também a existência de elevada correlação entre os parâmetros. Lembrando que a alta umidade do solo é caracterizada por todo comprimento de onda por valores baixos de reflexão pois os índices de refração são menores do que em solos secos. Solos mais úmidos tendem a ser mais férteis, devido ao acúmulo de mineirais nessas regiões.

4.1.1 Geração do Modelo de Regressão com Imagem *Rapideye* x Fertilidade de Solos

Para cada um dos 16 pontos amostrados no solo na área de estudo foram coletados os valores de reflectância referente a cada banda espectral do sensor do *Rapideye*: azul, verde, vermelho, red-edge e infravermelho. Na região há uma presença dos tipos de solos: latossolo vermelho, solos com texturas argilosas e muito argilosas (argissolos) e solos com textura média tendendo a arenosa. A predominância é de latossolo vermelho, devido a concentração de fatores que influenciam nas características desse solo, como o óxido de ferro, por exemplo.

A variável de fertilidade de solos (V%) apresentou uma variação ao longo das quatro primeiras classes definidas no Quadro 2, tendo valor máximo de 'V' em aproximadamente 76%. Embora a imagem tenha 12 bits de resolução radiométrica, os valores de reflectância dos solos nas bandas azul, verde, vermelho, red-edge e IR variaram pouco, por apresentar baixos valores de reflectância, sendo respectivamente: 4401-6868, 3721-7538, 2085-7444, 4305-7841 e 6079-9915. Com a aplicação da regressão linear múltipla, obteve-se o modelo representado na Equação 4, correlacionando os valores de reflectância (bandas espectrais) com os valores de fertilidade de solos (V%).

$$V = -6.405 * B_{Azul} + 3.447 * B_{Verde} - 1.668 * B_{Vermelha} + 4.763 * B_{RedEdge} - 1.666 * B_{ir} + 81.166 \quad (4)$$

Onde, V é a fertilidade do solo em porcentagem; $BAzul$ são os valores da reflectância referente à banda espectral no comprimento de onda do Azul; $BVerde$ são os valores da reflectância referente à banda espectral no comprimento de onda do Verde; $BVermelha$ são os valores da reflectância referente à banda espectral no comprimento de onda do Vermelho; $BRedEdge$ são os valores da reflectância referente à banda espectral no comprimento de onda do limiar do Vermelho; e Bir são os valores da reflectância referente à banda espectral no comprimento de onda do infravermelho.

Verifica-se na Equação 4 que as bandas espectrais referentes ao comprimentos de ondas do Azul e vermelho contribuíram de forma negativa com a definição da fertilidade do solo, com maior módulo de ponderação na região do Azul (-6.405). As outras três bandas espectrais contribuíram positivamente com a simulação da fertilidade do solo, onde a banda Red-Edge apresenta maior peso (4.763). Isso mostra que quanto maior o valor da reflectância na banda Red-Edge, maior será a fertilidade do solo, acordando com o descrito em seções anteriores, de que essa banda espectral apresenta uma forte relação com as propriedades químicas dos solos.

4.1.2 Verificação dos Erros na Geração do Modelo

Em uma análise quantitativa e estatística do modelo gerado, verifica-se que o erro é relativamente grande, mostrando que o ajuste do modelo não é o ideal. Isso pode ser explicado pelo baixo número de amostras, apenas 16 pontos. O valor do índice RMSE de ajuste do modelo foi de 16.524. É sabido que quanto menor esse valor do RMSE, melhor seria o ajustamento. Em complemento, foi determinado o coeficiente de ajuste R^2 , que apresentou valor de 0.2297. Esse índice complementa a informação do RMSE, indicando que o modelo não foi bem ajustado para as variáveis analisadas dentro da área de estudo. Quanto mais próximo de 1, melhor seria o ajuste do modelo.

Observa-se ainda na Tabela 5 que os erros (desvio padrão) referentes a cada variável do modelo, nesse caso, as bandas espectrais do rapideye, apontam que o modelo não foi bem ajustado, acordando com o citado acima. Os menores desvios padrão referem às bandas Vermelho e IR, com 2.76 e 1.454, respectivamente. Observa-se também que todos os valores de probabilidade ($P > |t|$) estão acima de 0.05 ou 5%, ou seja, fora do intervalo de confiança de 95%, que é o padrão para aceitar como bom o ajuste do modelo. As bandas do Azul e IR foram as que mais aproximaram desse intervalo, contudo, com valores muito superior.

Tabela 5 - Erros de ajuste do modelo - *Rapideye*

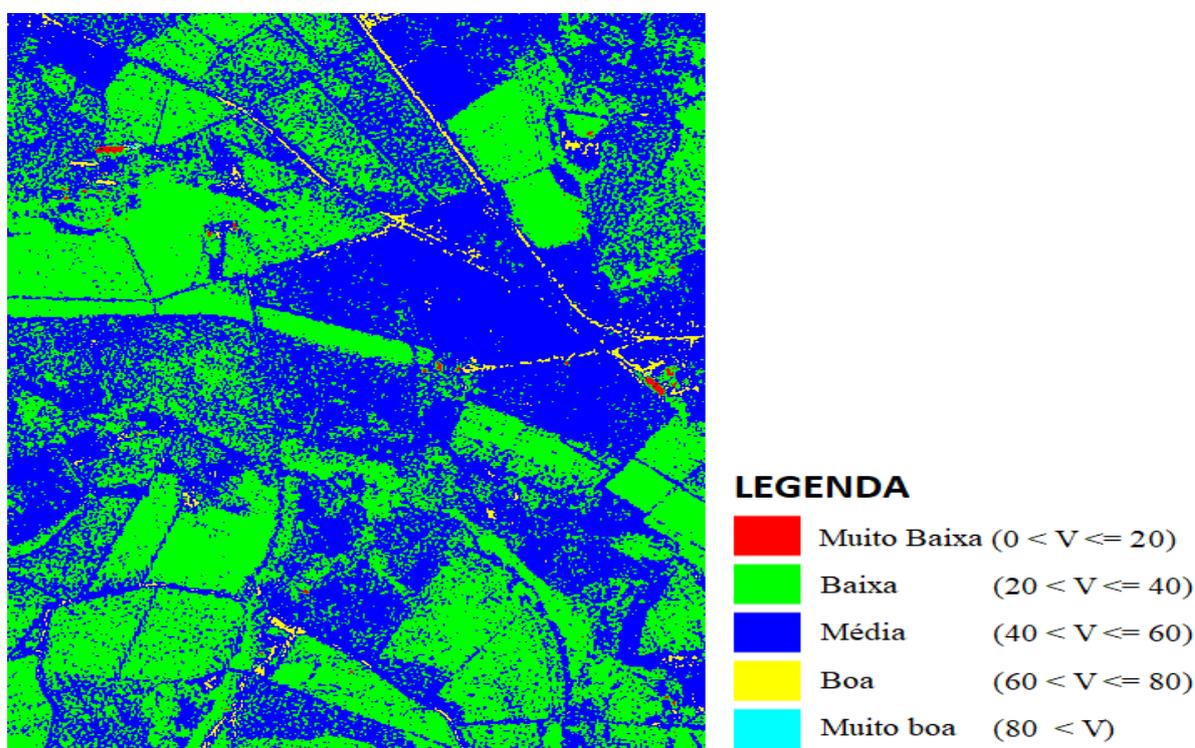
Variáveis	Desvio Padrão	P> t
Azul	6.248	0.329
Verde	5.73	0.561
Vermelho	2.760	0.559
RedEdge	5.879	0.437
IR	1.454	0.278

Fonte: O Autor.

4.1.3 Validação dos Resultados Obtidos com o Modelo Gerado – *Rapideye*.

Após gerado e verificado os erros contidos no modelo obtido com a regressão, foi realizada a espacialização da fertilizadade do solo usando esse modelo. Assim, a fertilidade dos solos foi representada espacialmente por meio de um mapa de fertilidade de solo (Figura 6), gerado com base nos demais valores de reflectância presentes na imagem *Rapideye*, inseridos no modelo gerado nesse estudo (Equação 4).

Figura 6 - Classes temáticas da fertilidade do solo usando imagem *Rapideye*.



Fonte: O autor.

É possível observar na Figura 6 que os índices de fertilidade médio (cor azul no mapa temático) coincidem com áreas de agricultura preparada para plantio (tomate, milho, etc), correspondendo a 52,97% da área total. Isso pode ser explicado porque se trata de áreas com

solos constantemente corrigidos para o plantio de cultura temporária. As áreas onde existe alguma cobertura por cultivo ou mata, como nos cafezais e mata ciliar, os valores de fertilidade foram baixos, indicando que o modelo não ajusta às respostas espectrais de alvos com presença de clorofila. Isto é, a área coberta por algum tipo de vegetação corresponde a 45,7% (área verde no mapa) da área, estando toda classificada como de baixa fertilidade.

Observa-se pequenas áreas com muito ‘baixa’ fertilidade (cor vermelha no mapa temático), apontando a presença de edificações. Por outro lado, a área correspondente a ‘muito boa’ fertilidade é muito pequena (575,00 m²), não sendo perceptível visualmente.

Para uma validação quantitativa, foram coletados os valores de fertilidade no mapa temático gerado pelo modelo e comparados com os valores de fertilidade do solo medidos em campo, para os quatro pontos de validação. Tanto os valores das 4 amostras de solos coletadas em campo quanto os valores coletados no mapa temático estão representados na Tabela 6.

Tabela 6 - Erro medido com os 4 pontos de validação - *Rapideye*

Pontos	Medidas observadas em campo	Medidas geradas com o modelo	Erro
1	52.20	44.1296	8.07
2	14.80	31.2931	-16.49
3	76.60	44.6865	31.91
4	39.30	37.8207	1.48

Fonte: O autor.

Observa-se que o uso do solo sobre a área em que foi coletado o ponto 1 apresenta plantio de cultura temporária, o ponto 2 foi coletado nas margens de um pequeno lago (solo mais úmido), o ponto 3 está localizado sobre o cultivo de café e próximo a pequena área com mata de galeria e o ponto 4 localizado sobre cultivo de café. Como resultado, conforme demonstrado na tabela 6, o ponto 3 apresenta erro (31.91) com magnitude superior ao intervalo de classificação (20), conforme descrito no Quadro 2.

Os outros três pontos apresentaram erros menores que 20, podendo ser aceitos como correto para um determinado intervalo de classificação. O valor do erro global na validação dos resíduos, o RMSE, foi igual a 18.424, mostrando que, na média, todos os pontos de verificação na área de estudo podem ser classificados como corretos, ou pertencentes ao intervalo de classificação (20) ao qual foi rotulado.

Ressalta-se que quanto menor for o valor obtido para o RMSE, melhor seria o ajustamento do modelo às variáveis em análise. Contudo, são valores aceitáveis por estarem dentro do referido intervalo.

4.2 RESULTADO COM A IMAGEM VANT

4.2.1 Geração do Modelo de Regressão com Imagem VANT x Fertilidade de Solos

Como já apresentado, a variável de fertilidade de solos (V%) apresentou uma variação ao longo das quatro primeiras classes ($V < 76\%$), e foram as mesmas utilizadas na geração do modelo com a imagem VANT. As imagens VANT foram obtidas com 8 bits de resolução radiométrica, os valores de reflectância dos solos nas bandas azul, verde, vermelho e IR também variaram pouco, apresentando baixos valores de reflectância, sendo respectivamente: 17-27, 14-29, 8-29, 17-31 e 24-39. Correlacionando os valores de reflectância das bandas espectrais da imagem VANT com os valores de fertilidade de solos (V%) obteve-se o modelo representado na Equação 5.

$$V = -7.752 * Bazul + 5.999 * Bverd + 0.312 * Bverm - 0.952 * Bir + 104.267 \quad (5)$$

Igualmente ao modelo gerado com o uso da imagem *Rapideye*, duas bandas espectrais VANT (Azul e infravermelho) contribuíram de forma negativa com a definição da fertilidade do solo, com maior módulo de ponderação para a banda do Azul (-7.752). As outras duas bandas espectrais contribuíram positivamente com a simulação da fertilidade do solo, onde a banda do verde apresentando maior peso (5.999).

4.2.2 Verificação dos Erros na Geração do Modelo

Para as imagens VANT repetiu-se o mesmo processo de avaliação da qualidade do modelo gerado a partir das 16 amostras de solos e dos parâmetros espectrais da imagem VANT. A raiz do erro médio quadrático RMSE cometido na geração do modelo por imagens VANT (16.264) foi próximo ao erro medido com as imagens *Rapideye* (16.564). Por outro lado, o coeficiente de determinação de ajuste do modelo, ou R quadrado ajustado (R^2), foi igual a 0.1791, mostrando menor ajuste se comparado ao modelo gerado com imagens *Rapideye*. Porém, este fato não muda o cenário de uso do modelo, uma vez que ambos não foram bem ajustados com uso das variáveis espectrais, com o número reduzido de amostras.

Com base nos erros de ajuste do modelo, referentes a cada variável espectral (imagem VANT), percebe-se que as bandas Azul e Verde são as que mais influencia, porque apresentam os maiores desvios padrão, como ilustra a Tabela 7. Além disso, nota-se que todos os valores do teste t estão acima de 0.05, ou 5%, indicando que todos também estão fora do intervalo de confiança de 95%.

Tabela 7 - Erros de ajuste do modelo - VANT

Variáveis	Desvio Padrão	P> t
Azul	5.928	0.218
Verde	4.710	0.229
Vermelho	1.261	0.809
IR	1.138	0.421

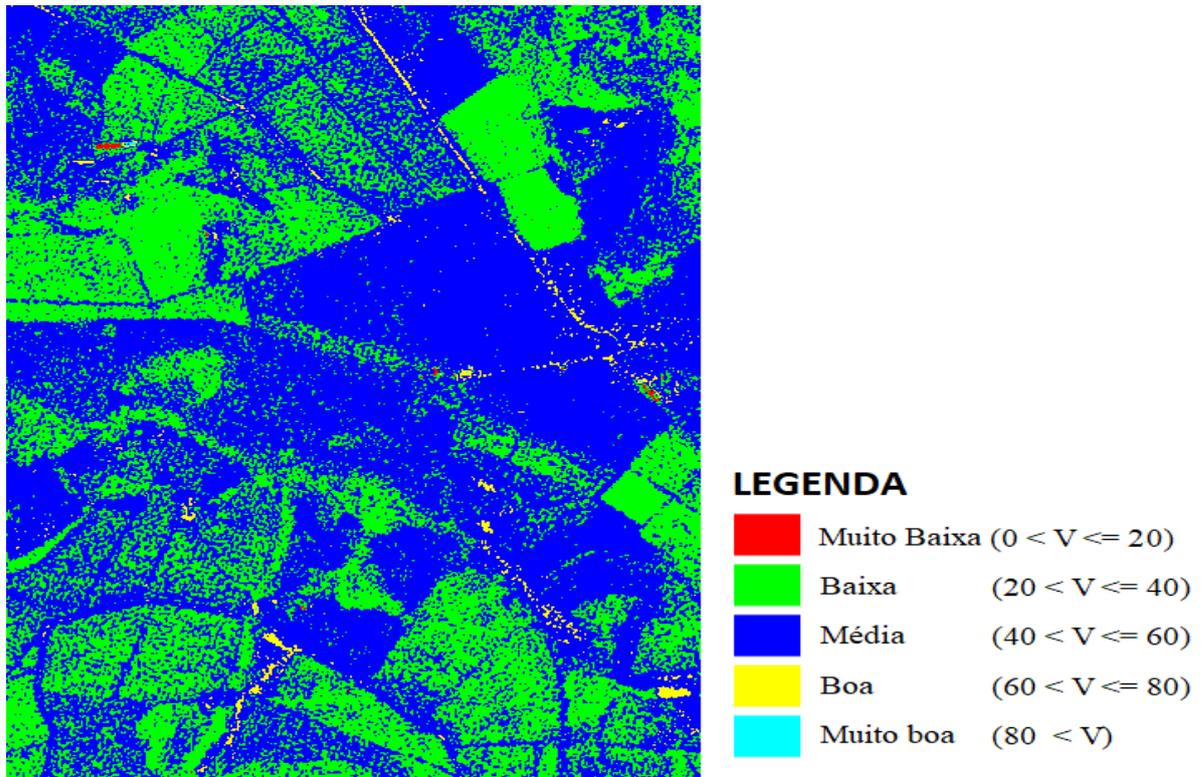
Fonte: O Autor.

Para esse modelo, as bandas espectrais do Azul e Verde apresentam valores de probabilidade mais próximas do intervalo de confiança tido como padrão (95%), mas ainda são altos valores para serem considerados/aceitos.

4.2.3 Validação dos Resultados Obtidos com o Modelo Gerado

Com base no modelo gerado pelo método de regressão linear múltipla, usando imagem VANT, foi gerado um mapa temático com classes que definem a fertilidade do solo, tendo como parâmetro, as classificação proposta no Quadro 2. Assim, aplicando o modelo para toda a cena imageada com o VANT foi gerado o mapa temático representado na Figura 7.

Figura 7 - Classes temáticas da fertilidade do solo usando imagem VANT.



Fonte: O autor.

Observa-se que a área de ‘muito baixa’ fertilidade é pequena e também está relacionada com locais de edificação. Visualmente, o mapa temático obtido com VANT é similar ao mapa temático obtido com a imagem *Rapideye*. A área correspondente à classe ‘muito boa’ fertilidade não pode ser visualizada no mapa, por ser muito pequena (550,00 m²), como também ocorreu com a imagem *Rapideye*.

Os índices de fertilidade médios (cor azul no mapa temático) também coincidem com as áreas de agricultura preparada para plantio (tomate, milho, etc), correspondendo a 62,07% da área total, quase 10% a mais quando usando a imagem *Rapideye*. Em outra mão, as áreas com alguma cobertura vegetal (36.92%) (cor verde no mapa temático) foi reduzida em quase 10%, em relação à mesma feição na imagem *Rapideye*, mostrando que ocorreu uma troca entre área com solo exposto e áreas com vegetação. Isso pode ser explicada pelas resoluções espaciais das imagens que são 5 metros e 4 centímetros para *Rapideye* e VANT, respectivamente. Outra explicação pode ser a ocorrência de colheita do cultivo entre as duas coletas de imagens.

A análise quantitativa, com base nas quatro amostras de validação foi realizada e os resultados estão representados na Tabela 8.

Tabela 8 - Erro medido com os 4 pontos de validação - VANT

Pontos	Medidas observadas em campo (%)	Medidas geradas com o modelo (%)	Erro (%)
1	52.20	39.6013	12.60
2	14.80	39.3303	-24.53
3	76.60	50.4684	26.13
4	39.30	36.5095	2.79

Fonte: O autor.

O erro global de validação dos resíduos (RMSE) foi de 19.046, muito próximo do valor medido com a imagem *Rapideye*. É um valor relativamente grande, mas está dentro do valor definido para os intervalos de classificação da fertilidade do solo.

Com a imagem VANT, dois pontos (pontos 2 e 3) apresentam erros com magnitude superior (-24.53 e 26.13) ao intervalo de classificação apresentado no Quadro 2. Os outros dois pontos apresentaram erros menores que 20, podendo ser aceitos como correto para um determinado intervalo de classificação.

5. CONCLUSÃO

Como o desafio proposto de analisar e modelar a fertilidade do solo em área rural, usando imagens VANT e *Rapideye*, diante da variabilidade na disposição e distribuição de minerais no solo, foi possível obter êxito com a aplicação da regressão linear múltipla, correlacionando parâmetros químicos dos solos com informação espectral de imagens digitais. Os modelos gerados possibilitaram a espacialização da fertilidade desse solo, e a validação indicou o método como promissor, embora ainda incipiente.

De modo geral, a variabilidade dos minerais do solo (K, P, Mg, S, N, Al, H, PH), analisados por meio do índice V%, se mostrou com caráter homogêneo ao longo de toda extensão da área de estudo, mostrando o domínio de áreas com solos de baixa e média fertilidade. Assim, a classificação dos solos, realizada com base nos modelos gerados nesse estudo, mostrou-se útil, revelando um solo voltado para o uso e manejos agrícolas, alterando em glebas com média e baixa fertilidade, podendo ser identificada em uma simples análise visual e comprovada pela análise quantitativa dos resultados.

Uma limitação dos experimentos está no número de amostras, que é pequeno, apenas 20. Outra limitação está relacionada a não representatividade dessas amostras, que não representaram a última classe de fertilidade de solos ($V > 80\%$). Assim, acredita-se que as pequenas áreas com

‘muito boa’ fertilidade, em ambas os modelos, estão relacionadas com esta premissa assumida na geração dos modelos. É provável que inserindo mais amostras no processo de geração dos modelos, os resultados poderão ser mais acurados.

Contudo, mesmo com tais limitações, é coerente afirmar que os resultados apresentam relação com a verdade de campo, como mostrado na seção de resultados. É um estudo que merece atenção, dado o significado dos resultados, que podem proporcionar ao proprietário de uma área rural/agrícola grande economia com ganho de tempo e produtividade. Isto é, como uma simples imagem e um número suficiente de amostras o método permite ao proprietário espacializar a fertilidade do solo de toda sua propriedade, indicando os pontos regiões com deficiência, buscando principalmente a redução de custos maiores que seriam provenientes de uso de manejo indevidos ou aplicações de insumos na proporção incorreta.

6. RECOMENDAÇÕES

Para melhorar a qualidade dos resultados, tornando o método mais preciso, recomenda-se usar uma maior quantidade de amostras, ou pontos amostrais coletados sobre a área, em número superior a 30, de forma que sejam bem distribuídas e representativas dos solos da área. Esse fato foi considerado neste trabalho como o fator limitante para atender aos objetivos propostos com acurácia.

Outro ponto que merece ser analisado com cuidado é a data de coleta das imagens, que devem ser o mais próximo possível, para evitar variação no recobrimento da área. Na realidade, recomenda-se aplicar essa metodologia em estudos com áreas compostas apenas com a feição de solo exposto.

REFERÊNCIAS

ANAC. **Curso de Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Agência Nacional de Aviação Civil. 2017.

ANTUNES, M. A. H.; DEBIASI, P.; SIQUEIRA, J. C. dos S. **Avaliação espectral e geométrica das imagens rapideye e seu potencial para o mapeamento e monitoramento agrícola e ambiental**. 2013. Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Revista Brasileira de Cartografia Nº 66/1, P. 105-113 Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto Issn: 1808-0936, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - Ufrjr, Seropédica – Rj, 2013.

BOSQUILIA, R. W. D.. **Comportamento espectral de alvos: Solos, água e outros**. 2009. 35 f. Curso de Sensoriamento Remoto, Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Dois Vizinhos, Dois Vizinhos Pr, 2009.

BOTTEGA, E L; QUEIROZ, D M de; PINTO, F A C; SOUZA, C M A. **Variabilidade espacial de atributos do solo em sistema de semeadura direta com rotação de culturas no cerrado brasileiro**. 2013. 9 f. Curso de Centro de Ciências Agrárias, Revista Ciência Agronômica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ce, 2013.

CAMARGO, O. A. de; VALADARES, J. M. A. da S.; VAN RAIJ, B. **Avaliação da capacidade de troca de cátions e m solos utilizando o método do tampão smp (1)**. 1982. 41 v. Curso de Agronomia, Revista Científica do Instituto Agronômico, Campinas, 1982.

CANTARUTTI, R. B.; V., V. H. A.; RIBEIRO, A. C. **Amostragem de solos em recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em minas gerais**. 2008. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais - Cfsemg, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa Mg, 2008.

CAON, D. **Especialização e mapeamento da fertilidade em diferentes camadas do solo e densidades amostrais**. 2012. 56 f. Dissertação - Programa de Pós-graduação em Agronomia – PPGA, Universidade Estadual do Centro Oeste – Unicentro, Guarapuava/PR, 2012.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G. T. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos**. R. Bras. Ci. Solo, 31:1329-1339, 2007.

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5 a aproximação. Viçosa, 1999. 359p.

CORÁ, J. E.; BERARDO, J. M. G. **Variabilidade espacial de atributos do solo antes e após calagem e fosfatagem em doses variadas na cultura de cana-de-açúcar**. Eng. Agríc., v.26, n.2, p.374-387, 2006.

COSTA, E. M. **Mapeamento Digital de Solos por Regressão Logística Múltipla em ambiente de Mar de Morros**. 2015. Curso de Pós Graduação em Agronomia e Ciência do Solo, Instituto de Agronomia Ufrj, Pinheiral, Rj, 2015.

COSTA, E. M.; DEBIASI, M. A. H. ; ANTUNES, P.; ANJOS, L. H. C. dos. **Processamento de imagens RapidEye no mapeamento de uso do solo em ambiente de Mar de Morros**. 2016. Curso de Departamento de Solos e Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (ufrj), Seropédica, Rj, 2016.

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, Brasília, v. 39, n. 12, p.1219-1229, 2004.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. 2. ed. rev. Atual. 28 EMBRAPA, 1997. 212p.

GEMIGNANI, B H. **Sensoriamento Remoto com VANT e câmeras Multiespectrais**. 2015. Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba/SP, 2015.

GOMES, J. B. V.; BOLFE, E. L.; CURI, N.; FONTES, H. R.; BARRETO, A. C.; VIANA, R. D. **Variabilidade espacial de atributos de solos em unidades de manejo em área piloto de produção integrada de coco**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.32, p. 2471-2482, 2008.

GUARÇONI M., A.; ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; CANTARUTTI, R.B.; LEITE, H.G. & FREIRE, F.M. **Definição da dimensão do indivíduo solo e determinação do número de amostras simples necessário à sua representação**. R. Bras. Ci. Solo, 30:943-954, 2006.

INMET. **Curso de Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, Instituto Nacional de Meteorologia. 2017.

JORGE, L A C; INAMASU, R Y; CARMO, R B. **Desenvolvimento de um VANT totalmente configurado para aplicações em Agricultura de Precisão no Brasil**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba/PR, 04/2011, INPE p.399.

JORGE, L A C.; TRINDADE JUNIOR, O. **Metodologia para Utilização de Aeromodelos em Monitoramento Aéreo**. Embrapa Instrumentação Agropecuária, São Carlos/SP, 2002.

JUPOVA, K., KUCERA, L., SUSTERA, J. Overview of RapidEye data processing and use within CWRS 2009 in the Czech Republic. **Anais: XV GeoCAP Annual Conference**, Taormina, p. 32 - 36, 2009.

LEPSCH, I.F.; BELLINAZZI JR., R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C. R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4a aproximação. Campinas: SBCS, 1983. 175p

LIMA, J. S. S.; OLIVEIRA, P. C. R.; OLIVEIRA, R. B.; XAVIER, A. C. **Métodos geoestatísticos no estudo da resistência do solo à penetração em trilha de tráfego de tratores na colheita de madeira**. Revista *Árvore*. vol.32, n.5, p. 931-938, 2008.

LIMA, F M; REGO, L F S M; NEUMANN, M R B; MENEZES, P H B J; NETO, G B S. **Aplicação de regressão linear múltipla no mapeamento digital de solos, no Distrito Federal**. 2013. Anais Xvi Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu/PR, INPE, 2013.

LINHARES, M M. A.; AMARAL, B A. S.; COSTA, A P. **Vant's aplicados ao monitoramento da evolução vegetativa de culturas agrícolas**. In. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (CONBAP), UNIGEO Agricultura de Precisão, Goiânia/GO, São Pedro/SP, 2014.

LOPES, A. S. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 1995. 186 f. Curso de Ciência do Solo, Superintendência Federal de Agricultura, Universidade Federal de Lavras, Lavras Mg, 1995.

MACHADO, L O; LANA, A M Q; QUINTÃO, R M. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em áreas sob sistema plantio convencional.** Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.31, p.591-599, 2007.

MAIA, A G. **Econometria: conceitos e aplicações.** Saint Paul; 1ª Ed., 284 p. 2017.

MANZIONE, R. L.; RODRIGUES, J. B. T.; ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial multivariada na avaliação de parâmetros químicos do solo.** In: BALASTREIRE, L. A. Avanços na Agricultura de Precisão no Brasil no período de 1999-2001. Piracicaba, 2002. 347 p.

MENDES, A. M. S. **Introdução a fertilidade do solo1.** 2007. 64 f. Tese (Doutorado) - Curso de Curso de Manejo e Conservação do Solo e da Águasuperintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Bahia – Sfa -ba/sdc/mapa, Superintendência Federal de Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Bahia – Sfa -ba/sdc/mapa, Ufba, Barreiras-ba,, 2007.

MIGUEL, F R M. **Variabilidade espacial de atributos do solo e produtividade em área cultivada com cana-de-açúcar.** 2010. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo Pós-Graduação, Campinas/SP, 2010.

MOORE, I. D.; TURNER, A. K; WILSON. J. P.; JENSON, S.K.; BAND, L.E (1993) **GIS and land-surfacesubsurface process modeling.** In: Environmental Modeling with GIS. Oxford, New, pp. 196-230.

NETO, S.P.da S.; SANTOS, A.C.dos; LEITE, R.L.de L.; DIM, V.P.; CRUZ, R.S. ; PEDRICO, A.; NETO D.N.das N. **Análise espacial de parâmetros da fertilidade do solo em região de ecótono sob diferentes usos e manejos.** 2011. Curso de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Tocantins., Londrina-pr, 2011.

NEUMANN, M R B. **Mapeamento Digital de Solos no Distrito Federal.** 2012. 110 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Geociências Aplicadas - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília/DF, 2012.

OLIVEIRA, F. H. T. de; ARRUDA , J. A. de; SILVA, I de F da; ALVES, J. do C. **Amostragem para avaliação da fertilidade do solo em função do instrumento de coleta**

das amostras e de tipos de preparo do solo(1). Curso de Agronomia e Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba – Ufpb., Areia (pb), 2007.

OLIVIERA, R B. **Mapeamento e correlação de atributos do solo e de plantas de café conilon para fins de agricultura de precisão.** 2007. 127 f. Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre/ES, 2007.

OLIVEIRA, L P; AMORIM, J S. **Análise da legalidade do emprego de veículos aéreos não tripulados (vants) na atividade de polícia ostensiva e de preservação da ordem pública.** Revista Ordem Pública, 2015.

OLIVEIRA, W. V. **Extração automática de espécies de ipê-amarelo a partir de imagens obtidas por VANT.** 2017. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo-MG, 2017.

PELEGRINI, M S. **Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por vant para aplicações cadastrais do cemitério municipal de Monte Carmelo-MG.** 2017. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo-MG, 2017.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação.** São Paulo: Ceres, 1991. 343 p

RAPIDEYE, Satellite imagery product specifications. Disponível em: <www.rapideye.com>. Acesso em 18 de nov. 2012.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** 2010. 27 f. - Curso de Embrapa Monitoramento Por Satélite, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Campinas, SP, 2010.

SANTOS H. L.; VASCONCELLOS. CA **Determinação do número de amostras de solo para análise química em diferentes condições de manejo.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 11:97-100. 1987.

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, S. A., Variabilidade espacial do fósforo e das frações granulométricas de um Latossolo Vermelho Amarelo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 01, p. 1-8, 2010.

SILVA, J F; ASSIS, H Y E G; BRITO, A V. **VANT como ferramenta auxiliar na análise da cobertura e uso da terra**. 2015. X Congresso Brasileiro de Agroinformática, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

SILVA, L. da R. da; SANO, E. E. **Análise das imagens do satélite rapideye para discriminação da cobertura vegetal do bioma cerrado**. 2016. 15 f. Instituto de Geociências – Ig/ Instituto Central de Ciências - Icc, Universidade de Brasília - Unb, Brasília-df, 2016.

VARASCHINI, A. D. C. **Avaliação da fertilidade do solo na agricultura de precisão**. 2012. 54 f. Monografia (Especialização) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Departamento de Estudos Agrários (DEAG) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), Ijuí/RS, 2012.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. **Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties**. Hilgardia, Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S. R. **Geoestatística em Estudos de Variabilidade Espacial do Solo**. Tópicos em Ciências do Solo, v.1, p.1-55, 2000.