

DOUGLAS SANTANA SERATO

ANÁLISE DA FERTILIDADE DOS SOLOS NO MUNICÍPIO DE MONTE
CARMELO - MG

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de concentração em processos ambientais, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Profa. Dra. Adriane de Andrade Silva

Co-orientador

Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S482 Serato, Douglas Santana, 1986-
2017 Análise da fertilidade dos solos no município de Monte Carmelo
- MG [recurso eletrônico] / Douglas Santana Serato. - 2017.

Orientadora: Adriane de Andrade Silva.
Coorientador: Claudionor Ribeiro da Silva.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Pós-graduação em Qualidade Ambiental.
Modo de acesso: Internet.
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2322>
Inclui bibliografia.

1. Desenvolvimento sustentável. I. Silva, Adriane de Andrade,
1972-, (Orient.). II. da Silva, Claudionor Ribeiro, 1975-, (Coorient.).
III. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em
Qualidade Ambiental. IV. Título.

CDU: 502.33

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:
Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074

DOUGLAS SANTANA SERATO

ANÁLISE DA FERTILIDADE DOS SOLOS NO MUNICÍPIO DE MONTE
CARMELO - MG

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-
graduação em Qualidade Ambiental – Mestrado, área de
concentração em processos ambientais, para obtenção do
título de “Mestre”.

APROVADA em 28 de Agosto de 2017.

Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva
(co-orientador)

UFU

Prof. Dr. Jair Rocha do Prado

UFU

Profa. Dra. Laís Naiara Gonçalves dos Reis

UEG

Profa. Dra. Adriane de Andrade Silva
ICIAG-UFU
(Orientadora)

UBERLÂNDIA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	i
RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
CAPÍTULO 1 - Mapeamento de Solo no Município de Monte Carmelo - MG.....	4
1 Introdução geral	4
2 Referencial Teórico.....	5
2.1 Atributos do solo.....	5
2.2 Sensoriamento Remoto	7
2.3 Índices de Vegetação	9
2.4 Satélite Sentinel 2A	14
3 Referências.....	15
CAPÍTULO 2 - ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO.....	19
1. RESUMO.....	19
2. ABSTRACT.....	20
3. Introdução	21
4. Materiais e métodos	22
5. Resultados e discussão.....	26
5.1 Fósforo (P)	26
5.2 Alumínio (Al)	27
5.3 Cálcio (Ca).....	30
5.4. Saturação alumínio (m).....	32
5.5. Magnésio (Mg)	33
5.6. Matéria Orgânica (MO)	35
5.7. pH em Água	37
5.8. Saturação por Bases (V)	39
6. Conclusões.....	40
7. Referências.....	41
CAPÍTULO 3 – Índices de vegetação aplicados à predição da fertilidade dos solos.....	43
1. RESUMO.....	43
2. ABSTRACT.....	44
3. Introdução	45

4. Materiais e Métodos.....	46
5. Resultados e Discussão.....	50
6. Conclusões.....	55
7. Referências.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

LABAS – Laboratório de Análise de Solos

CFSEMG - Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais

cm - Centímetro

cmol_c dm⁻³ - Centimol por Decímetro Cúbico

CTC - Capacidade de Troca Catiônica

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

g - Gramas

ha⁻¹ - por hectare

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Kg dia⁻¹ t⁻¹ - Quilos por dia por tonelada

kg - Quilograma

m² - Metro Quadrado

m³ - Metro Cúbico

m³ ha⁻¹ ano⁻¹ - Metro cúbico por hectare por ano

m³ s⁻¹ Metro cúbico por segundo

Meq⁻¹ L - miliequivalentes por Litro

mg dm⁻³ - Miligrama por Decímetro Cúbico

mg L⁻¹ - Miligramas por Litro

mL -Mililitros

Mm - Milímetro

RESUMO

SERATO, DOUGLAS SANTANA. **Mapeamento de solos no município de Monte Carmelo - MG**. 2017. 60p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia – MG¹

O conhecimento da aptidão agrícola e ambiental pode determinar as diretrizes para o desenvolvimento de uma região. Monte Carmelo é uma cidade que atualmente sofre pela extinção de inúmeras cerâmicas que existiam na região, porém ainda tem um apelo agrícola muito grande, principalmente pela presença de lavouras de café e eucalipto. Também possui muitas áreas de agricultores familiares e de pastagens degradadas que não estão corretamente inseridas no mercado agrícola. O conhecimento da fertilidade do solo e de alguns atributos químicos do solo do município de Monte Carmelo - MG, podem direcionar estudos para desenvolvimento da aptidão agrícola e mapear os diversos usos e ocupações do município, sendo útil para o desenvolvimento rural regional, servindo de suporte para políticas públicas e empreendimentos. Há várias perspectivas de interligação de áreas dentro do agronegócio brasileiro, entre elas tem-se observado que a união das técnicas de amostragem de solos, com ferramentas de sensoriamento remoto e modelagens podem contribuir para melhoria da interpretação e tomada de decisão. Objetivou-se coletar solos do município de Monte Carmelo- MG e gerar mapas dos atributos químicos do solo e através de técnicas de sensoriamento remoto identificar diferentes usos e ocupações e correlacionar a fertilidade do solo, e verificar se é possível obter índices calculados. Utilizou-se como ferramenta imagens de satélites para identificar diferentes usos e ocupações e em cada uso identificado obter amostras de solo georreferenciadas para coletar solos e com os resultados determinar índices calculados de correlação de fertilidade com o uso e ocupação de solos. Foram selecionados usos e ocupações agrupadas como cultura de cereais, áreas de matas nativas e cerrado, culturas florestais (Eucalipto e Mogno), pastagens, lavouras de café e culturas diversas (abacate, tomate, mamão, banana, mandioca e cana-de-açúcar), essas culturas foram agrupadas em função de serem observadas em menor número de áreas com o mesmo uso, mas sua manutenção torna-se importante pois demonstra que há presença na área amostrada. Para os usos mais representativos foram selecionados um mínimo de 30 amostras de solo georreferenciadas no município. Esse estudo servirá como marco do monitoramento por satélite da região e poderá ser acompanhado ao longo dos anos verificando se haverá impactos sobre as áreas agrícolas do município.

PALAVRAS-CHAVE: Mapas de atributos de solo, Gráficos de frequência, monitoramento, sensoriamento remoto.

¹ Comitê orientador: Adriane de Andrade Silva – Universidade Federal de Uberlândia e Claudionor Ribeiro da Silva – Universidade Federal de Uberlândia

ABSTRACT

SERATO, DOUGLAS SANTANA. **Mapping of soils in the municipality of Monte Carmelo - MG**. 2017. 60p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia – MG²

Knowledge of the agricultural and environmental aptitude of a region can determine the guidelines for the development of a region. Monte Carmelo is a city that currently suffers from the extinction of numerous ceramics that existed in the region, but still has a very large agricultural appeal, mainly due to the presence of coffee and eucalyptus plantations. It also has many areas of family farmers and degraded pastures that are not properly inserted in the agricultural market. The knowledge of soil fertility and some soil chemical attributes of the municipality of Monte Carmelo - MG, can direct studies to develop agricultural aptitude and map the various uses and occupations of the municipality, being useful for regional rural development, serving as support for public policies and entrepreneurship. There are several perspectives for the interconnection of areas within Brazilian agribusiness, among them it has been observed that the union of soil sampling techniques with remote sensing tools and modeling can contribute to improved interpretation and decision making. The objective of this study was to collect soils from the municipality of Monte Carmelo-MG and to generate maps of soil chemical attributes and through remote sensing techniques to identify different uses and occupations and to correlate soil fertility and to verify if it is possible to obtain calculated indexes. Satellite images were used as a tool to identify different uses and occupations and in each identified use to obtain soil samples georeferenced to collect soils and with the results to determine calculated indexes of fertility correlation with the use and occupation of soils. Selected uses and occupations were grouped as cereal crops, areas of native and cerrado forests, forest crops (Eucalyptus and Mahogany), pastures, coffee plantations and various crops (avocado, tomato, papaya, banana, cassava and sugar cane). These crops were grouped according to being observed in less number of areas with the same use, but their maintenance becomes important because it shows that there is presence in the area sampled. For the most representative uses, a minimum of 30 soil samples georeferenced in the municipality were selected. This study will serve as a framework for satellite monitoring of the region and may be monitored over the years to see if there will be impacts on the agricultural areas of the municipality.

KEYWORDS: Soil attributes maps, Frequency charts, monitoring, remote sensing.

² Supervising Comittee: Adriane de Andrade Silva – Universidade Federal de Uberlândia e Claudionor Ribeiro da Silva – Universidade Federal de Uberlândia

CAPÍTULO 1 - Mapeamento de Solo no Município de Monte Carmelo - MG

1. Introdução geral

O município de Monte Carmelo (Figura 1) se estende por 1.343 km² e com população estimada pelo último censo realizado de 48.096 habitantes (IBGE, 2016), sendo a densidade demográfica de 34,8 habitantes por km². Situa-se a 890 metros de altitude, nas coordenadas de 18° 44' 5" de latitude Sul e 47° 29' 47" de longitude Oeste, clima tropical, classificado como Aw segundo a Köppen e Geiger, temperatura média de 21,2 °C e com um valor de pluviosidade média anual por volta de 1444 mm.

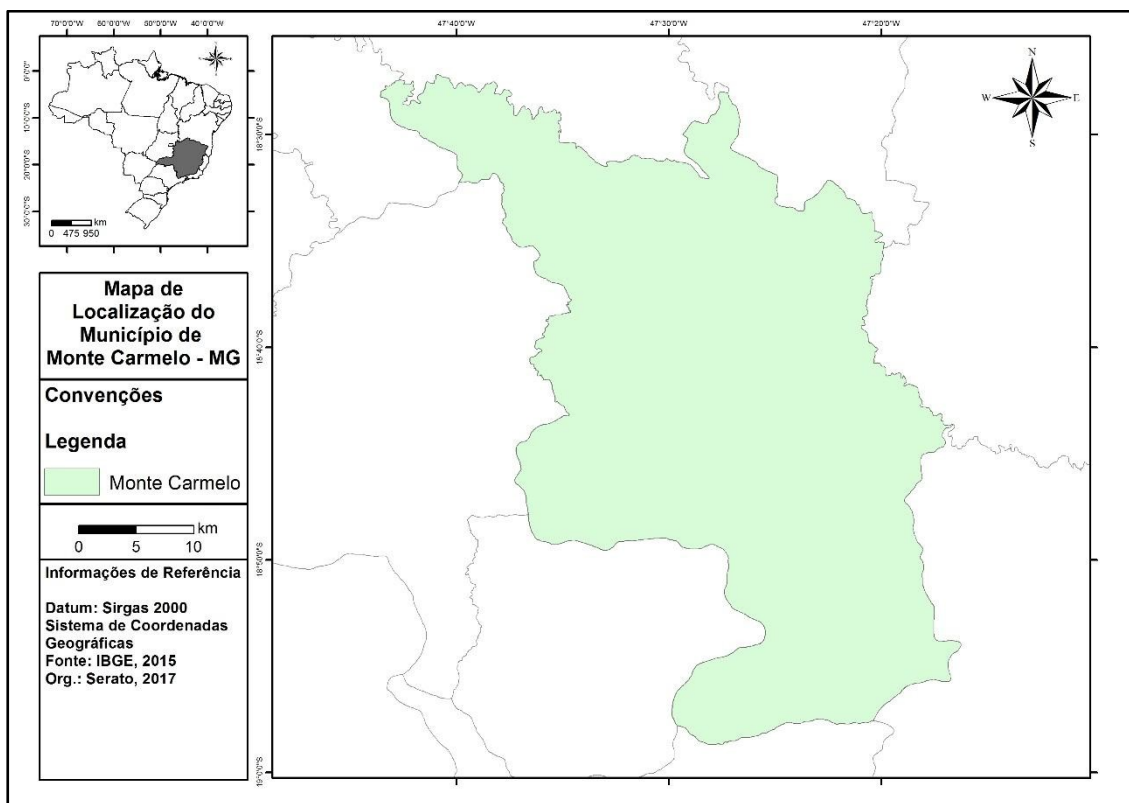


Figura 1: Mapa de localização do Município de Monte Carmelo – MG
Org.: AUTOR

Trata-se de um município com tradição agropecuária muito forte, pois observando-se a condição legal do produtor, encontram-se segundo pesquisa do IBGE 2016, que nos dias de hoje, a economia da cidade, está ligada ao setor agrícola com a produção de algodão, alho, arroz em casca, feijão, milho, mandioca, soja, tomate, trigo, cebola, pimenta e café, o principal produto agrícola, onde há grãos de altíssima qualidade servindo o Brasil com o café do cerrado carmelitano. O município, juntamente com

Araguari, Uberaba e Patrocínio, está no eixo de destaque da produção do melhor café do cerrado para exportação no Brasil (IBGE, 2016).

Os solos da região possuem fertilidade efetiva e boa característica física, o que proporciona ao agricultor, mesmo quando em baixas fertilidades, efetuar a correção dos solos com facilidade. Esses fatores contribuem com a diversidade de cultivos na agricultura da região. Desse modo, torna-se de extrema importância conhecer e monitorar a fertilidade dos solos para que o agricultor possa ter noção de qual manejo efetuar em suas áreas, assim como acompanhar o avanço dos níveis tecnológicos aplicados. O conhecimento de uma região agrícola pode gerar estimativas de ações para implantar melhorias em seus usos e aptidões.

Atualmente, há diversos usos de imagens de satélite para monitorar atividades de mau uso de solos como desmatamentos, queimadas, e também podem ser utilizadas para aplicações de taxas adequadas de fertilizantes, verificação de cobertura vegetal, entre outras práticas. O mapeamento da fertilidade do solo pode ser uma prática que possibilita ajustar cultivos em função de suas exigências nutricionais. Verificar se é possível gerar índices a partir de imagens de satélites e amostras de solo e definir o correto uso e ocupação. O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta comumente utilizada para o armazenamento, análise e manipulação de dados, sendo, portanto, útil para o mapeamento da fertilidade, fornecendo informações para a tomada de decisão no manejo de uma área.

2. Referencial Teórico

2.1 Atributos do solo

A principal limitação ao uso agrícola é a baixa fertilidade natural; mesmo os solos com características eutróficas, contêm baixa soma de bases e não possuem reserva de nutrientes e, por isso, sofrem influências das práticas de manejo.

A avaliação da fertilidade do solo é o primeiro passo para a definição das medidas necessárias para correção e manejo da fertilidade de um solo. A análise química do solo é um dos métodos quantitativos mais utilizados para diagnosticar a fertilidade do solo.

A finalidade da análise química do solo para fins agrônômicos é a de verificar a quantidade de elementos químicos presentes no solo. No entanto, seu real objetivo, baseado nas premissas químicas, é determinar a quantidade efetiva de cargas negativas

no solo, ou seja, uma propriedade chamada de CTC (Capacidade de Troca de Cátions). Além disso, serve para determinar uma característica que é a quantidade destas cargas que estão efetivamente saturadas com cátions básicos que são Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ e cátions ácidos como, H^+ e Al^{3+} . Portanto, o que se procura determinar é o balanço entre ácidos e bases, que dão as características de fertilidade aos solos.

Todos os solos, por mais homogêneos que possam parecer, apresentam variações em seus atributos físicos e químicos, até mesmo quando pertencentes a uma mesma classe de solo (AMARO FILHO et al., 2007). Estas variações ou heterogeneidades dos atributos químicos são típicas em solos cultivados, afetando diferenciadamente a produtividade das culturas.

Quanto maior o nível de detalhamento amostral dos atributos químicos do solo maior também a precisão dos mapas gerados representando mais fortemente a realidade encontrada a campo; no entanto, o custo e o trabalho com amostragens intensas podem ser fatores limitantes (Knob, 2006). Para fins de aplicações em taxas variáveis à nível de produtividade, deve-se trabalhar com ferramentas que reduzam as variabilidades, com uso de krigagem entre outras ferramentas. Mas, para fins de atendimento a diagnóstico regional, pode-se realizar malhas de amostragem mais amplas. A opção de realização de um mapeamento da área de um município não pretende atender as particularidades dos cultivos, mas um diagnóstico da região que poderá direcionar a destinação de insumos para correção e apoio às áreas com maiores demandas.

Os boletins de fertilidade do solo, como o da CFSEMG (1999) e o Boletim 100, (Raij et al., 1997), trazem parâmetros para que sejam realizadas avaliações gerais dos atributos químicos do solo. De acordo com a CFSEMG (1999), pode-se caracterizar os atributos em 5 classes distintas de acordo com cada um deles. Sendo as classes: a) muito baixo, b) baixo, c) médio (adequada), d) alta e e) muito alta. De forma geral essas categorias podem posicionar os produtores rurais, os técnicos (Engenheiros agrônomos, e outros profissionais) e os gestores em uma tomada de decisão.

Entre os atributos o pH apresenta as características da acidez ativa. Amado et al (2009) observaram que o pH foi o atributo que apresentou a menor variabilidade espacial. O pH do solo é alterado por uma das práticas mais consolidadas de correção de solo, a calagem. Esta é responsável pela melhoria das condições químicas nas camadas superficiais do solo, sendo importante para o fornecimento de cálcio e magnésio para as plantas e neutralizar a acidez do solo. Porém, o calcário também pode contribuir com outras camadas de solo dependendo da forma de aplicação. Segundo Quaggio et al.

(1993), desde que bem incorporado ao solo, o calcário pode melhorar rapidamente também o subsolo, com efeito duradouro. Todavia, há informações conflitantes quanto a essa eficiência da calagem e, em alguns casos, o movimento de cálcio tem sido usado como um índice de movimentação de calcário, o que não é necessariamente verdadeiro (Sumner, 1995).

2.2 Sensoriamento Remoto

Entende-se por sensoriamento remoto a obtenção de informações de objetos sem que se tenha contato direto com os mesmos. Para melhor exemplificar tal conceito, a *American Society for Photogrammetry* (ASPRS) formalmente define sensoriamento remoto como: “A medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico ou íntimo com o objeto ou fenômeno em estudo (COLWELL, 1983).

Schowengerdt (2007) considera o Sensoriamento Remoto como “a medida das propriedades de um objeto na superfície da Terra usando dados adquiridos por meio de aeronaves e satélites”

O Sensoriamento Remoto permite aplicações em diversas áreas como: meio ambiente, geologia, recursos hídricos, solos, agricultura, florestas, uso militar, telecomunicações, planejamento territorial e urbano, entre outras. Como exemplos de uso militar, o sensoriamento remoto foca-se na detecção e classificação de alvos e no mapeamento de terrenos e instalações. No uso ambiental pode-se utilizar o sensoriamento remoto em trabalhos relacionados ao monitoramento atmosférico, ao monitoramento da superfície da terra, dos oceanos, entre outros. Na agricultura, o sensoriamento remoto atua no gerenciamento e diagnóstico do comportamento ou potencial agrícola, pois ele possibilita, a partir das informações obtidas pelas imagens orbitais, respostas rápidas, confiáveis e com uma periodicidade semanal (combinando o uso de vários satélites) de áreas com dimensões consideradas grandes. Como exemplos têm-se a possibilidade de monitorar e avaliar culturas quanto ao cálculo de suas áreas cultivadas, suscetibilidade de ataque de pragas, etc.

Assim como toda tecnologia, o sensoriamento remoto possui suas vantagens e limitações. Como vantagens, têm-se o poder em fornecer novas e fundamentais informações científicas. Os dados do sensoriamento remoto podem ser obtidos

sistematicamente para áreas geográficas muito grandes ao invés de observações pontuais. Tal aspecto além, de proporcionar uma análise de grandes áreas, favorece o conhecimento e agilidade na obtenção das informações dessas áreas. Outra vantagem é a possibilidade de estimar variáveis geofísicas (posição, altura ou profundidade) e variáveis biofísicas (temperatura, biomassa, umidade do solo, etc.).

A principal limitação do sensoriamento remoto está no entendimento de seus usuários ao considerarem-no como a solução ideal. As tecnologias envolvidas nesse processo possuem altos valores e conhecimentos investidos no desenvolvimento e manutenção desses projetos. Outras limitações referem-se à análise visual dos produtos de sensores remotos. Entre elas podemos destacar a falta de estereoscopia de alguns sensores, o que impossibilita a visão tridimensional; interferência atmosférica que limita a detecção de alvos; e baixo contraste espectral que dificulta a diferenciação entre alguns alvos sob determinadas condições.

O Sensoriamento remoto possui alguns elementos que estão ligados à aquisição de informações sobre um alvo. Na figura 2 são apresentados os componentes do sensoriamento remoto responsáveis pela aquisição de informações sobre os alvos.

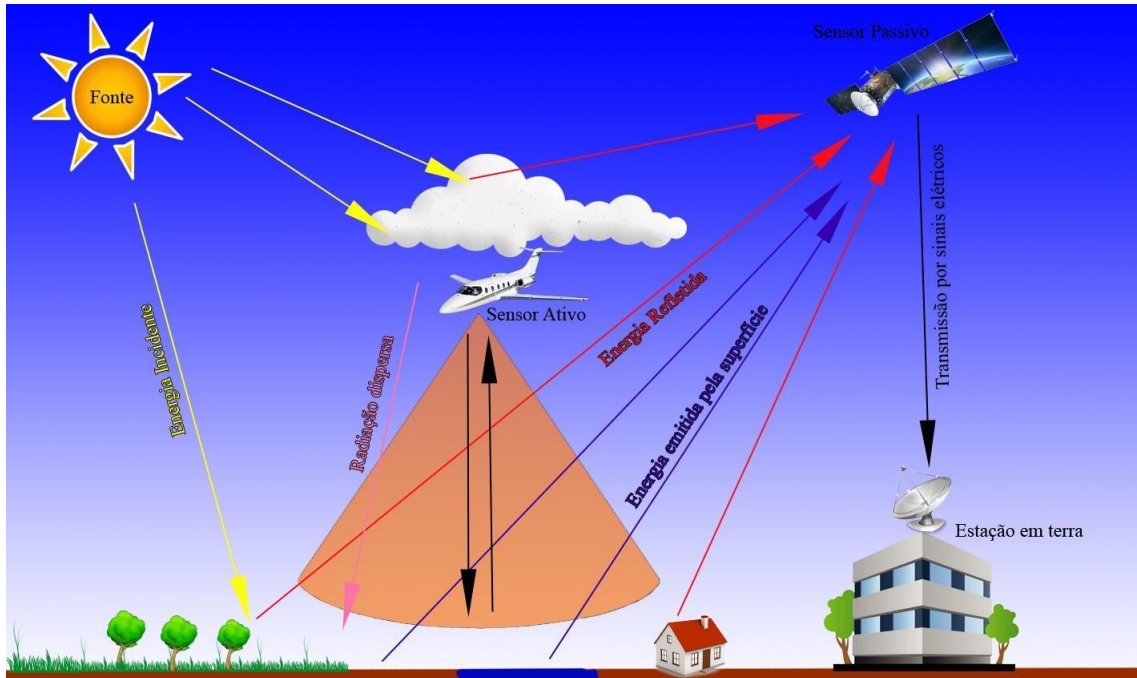


Figura 2: Representação esquemática do funcionamento do sensoriamento remoto
Org.: AUTOR

As fontes de energia que incidem sobre os alvos podem ser naturais (Luz do sol e calor emitido pelos alvos) ou artificiais (Radares, etc.). Os sistemas sensores acoplados

em plataformas orbitais são radiômetros imageadores, ou seja, estes sensores captam a radiação eletromagnética (REM), convertem esta informação em sinal elétrico, o qual é transmitido para uma estação em terra que processa esses sinais e gera produtos de imagens.

Os sensores remotos também podem ser classificados em passivos e ativos. Os Sensores ativos irradiam energia artificial para monitorar a superfície terrestre ou características atmosféricas. Como exemplos de sensores ativos temos o Radar e o scanner a laser. Radar é a abreviação de *Radio detecção e variação*, um sistema para a detecção da variação das características da superfície da terra. Estes satélites de radiação eletromagnética irradiam em comprimentos de onda longos (microondas), logo, podem monitorar sem a luz do sol e quase não são afetados por fatores como, nuvens, poeiras, clima, etc. Eles, invariavelmente, absorvem radiação refletida da terra e comparam com sinais eletromagnéticos, intensidade e tempo decorrido. Os resultados podem ser medidos à distância.

Os Sensores passivos detectam a radiação solar refletida a partir da terra e radiação térmica nos comprimentos de ondas visíveis e de infravermelhos do espectro eletromagnético. Ao contrário dos sensores ativos, eles não emitem sua própria radiação. A maioria dos sensores passivos são sistema scanner como o LANDSAT, CBERS, IKONOS. Como vantagens, tais sensores conseguem agrupar várias bandas espectrais permitindo diversas interpretações.

2.3 Índices de Vegetação

Diversos Índices de Vegetação já foram propostos para diferentes finalidades, principalmente com o objetivo de explorar as propriedades espectrais da vegetação, nas regiões do visível e do Infravermelho próximo. Tais índices relacionam-se a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e índice de área foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, declividade da superfície e geometria da aquisição, que influenciam os valores de reflectância da vegetação (PONZONI et al, 2012). Foram utilizadas características de absorção associadas com constituintes bioquímicos para avaliar as culturas em estudo. Assim, diferentes índices são utilizados na agricultura e são otimizados para avaliar um processo de interesse (BRANDAO, 2009). Por exemplo, alguns índices espectrais foram propostos para capturar os processos

fotoquímicos associados com a atividade da fotossíntese tal como o uso da eficiência da luz (ϵ) ou estimar o conteúdo de pigmentação da folha (clorofila) (DAUGHTRY et al., 2000; BRITO et al., 2011), enquanto que outros foram projetados para obter o índice de área foliar (IAF). Na tabela 1 (Jensen, 2009) pode-se verificar alguns índices comumente utilizados.

Tabela 1 – Índices de vegetação comumente utilizados

Descrição	Índice	Referência
Características Estruturais		
SR (<i>Simple Ratio</i>)	$SR = R_{NIR} / R_R$	Birth e McVey (1968)
NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>)	$NDVI = (R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R)$	Rouse et al. (1974)
GRVI (<i>Green-Red Vegetation Index</i>)	$GRVI = (R_G - R_R) / (R_G + R_R)$	Tucker (1979)
SAVI (<i>Soil Adjusted Difference Vegetation Index</i>)	$SAVI = (1 + L)(R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R + L)$	Huete (1988)
SARVI (<i>Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>)	$SARVI = \frac{(1 + L) \left[(R_{NIR} - (R_R - \gamma(R_B - R_R))) \right]}{[L + R_{NIR} + (R_R - \gamma(R_B - R_R))]}$	Kaufman e Tanre (1992)
MSAVI (<i>Modified SAVI</i>)	$MSAVI = \frac{1}{2} \left[2R_{NIR} + 1 - \sqrt{(2R_{NIR} + 1)^2 - 8(R_{NIR} - R_R)} \right]$	Qi et al., 1994
RDVI (<i>Renormalized Difference Vegetation Index</i>)	$RDVI = \sqrt{(R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R)}$	Roujean e Breon (1995)
EVI (<i>Enhanced Vegetation Index</i>)	$EVI = 2,5(R_{NIR} - R_R) / (1 + R_{NIR} + 6R_R - 7,5R_B)$	Huete et al. (1997)
OSAVI (<i>Optimized SAVI</i>)	$OSAVI = (1 + 0,16)(R_{NIR} - R_R) / (R_{NIR} + R_R + 0,16)$	Rondeaux et al., 1996
MSR (<i>Modified SR</i>)	$MSR = [(R_{NIR} / R_R) - 1] / \sqrt{1 + (R_{NIR} / R_R)}$	
Propriedades Bioquímicas		
SIPI (<i>Structural Insensitive Pigment Index</i>)	$SIPI = (R_{NIR} - R_B) / (R_{NIR} + R_R)$	Peñuelas et al., 1995
GARI (<i>Green Atmospherically Resistant Vegetation Index</i>)	$GARI = \frac{R_{NIR} - [R_G - \gamma(R_B - R_R)]}{[R_{NIR} + (R_G - \gamma(R_B - R_R))]}$	Gitelson et al., 1996
TVI (<i>Triangular Vegetation Index</i>)	$TVI = \frac{1}{2} [120(R_{NIR} - R_G) - 200(R_R - R_G)]$	Broge e Leblanc (2001)
GCI (<i>Green Chlorophyll Index</i>)	$GCI = [R_{NIR} / R_G] - 1$	Gitelson et al., 2003
MCARI1 (<i>First Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index</i>)	$MCARI1 = 1,2 [2,5(R_{NIR} - R_G) - 1,3(R_{NIR} - R_G)]$	Haboudane et al. (2004)
MCARI2 (<i>Second Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index</i>)	$MCARI2 = \frac{1,2 [2,5(R_{NIR} - R_G) - 1,3(R_{NIR} - R_G)]}{\sqrt{2(R_{NIR} + 1)^2 - 0,5 - 6(R_{NIR} - 5\sqrt{R_R})}}$	Haboudane et al. (2004)

A fundamentação da teoria desses índices reside no comportamento oposto da reflectância da vegetação nas duas regiões espectrais acima citadas (visível e infravermelho próximo). Via de regra, quanto maior for a massa volumar da cobertura vegetal em uma determinada área, menor será a reflectância na região do visível, por conta da maior oferta de pigmentos fotossintetizantes. Por outro lado, maior será a

reflectância apurada na região do infravermelho próximo, devido ao espalhamento múltiplo da radiação eletromagnética nas diversas camadas foliares. Com base no que foi apresentado, pode-se considerar que quanto maior for o contraste entre as regiões do visível e do infravermelho próximo, maior vigor terá a cobertura vegetal imageada.

O NDVI (Índice de Vegetação da diferença normalizada) é historicamente um dos primeiros Índices de vegetação. É uma razão normalizada do Infravermelho Próximo (NIR) e da banda do vermelho (ROUSE JR et al., 1973):

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

O NDVI é um índice de vegetação estrutural, bastante utilizado no monitoramento agrícola, pois apresenta intensa correlação linear com o desenvolvimento das culturas. Por outro lado, a razão simples entre o NIR e o canal vermelho fornece uma alta correlação com o desenvolvimento das plantas e com seus estágios de crescimento, sendo esse um dos primeiros índices de vegetação estudados (BIRTH; McVEY, 1968). Este é o índice de Vegetação mais habitualmente usado, o qual possui a aptidão de minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida. Seus resultados variam de -1 a +1 (quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal), o 0 representa valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, representa superfícies não vegetadas.

O NDVI é um índice de vegetação importante, pois, a partir dele é possível monitorar mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividade da vegetação, assim como sua razão reduz muitas formas de ruídos multiplicativos (diferenças de iluminação solar, sombras de nuvens, algumas atenuações atmosféricas, algumas variações topográficas) presentes em múltiplas bandas de imagens de múltiplas datas (JENSEN, 2009). Entretanto, Huete et al., (2002^a), relatam algumas desvantagens do NDVI como: por se tratar de um índice baseado em razão, é não linear e pode ser influenciado por efeitos ruidosos aditivos, tais como radiância de trajetória atmosférica. Outra desvantagem é o fato do NDVI ser muito sensível a variações do substrato sob dossel (por exemplo, os solos que são visíveis sob os dosséis). Os valores de NDVI são particularmente altos com substratos mais escuros.

Notoriamente, é um índice bastante utilizado até os dias atuais. Mesmo obtendo sucesso em suas aplicações, é importante considerar, em sua interpretação, alguns fatores

limitantes como os pontos de saturação, a interferência atmosférica, o posicionamento do centro e a largura de cada banda (varia conforme os sensores). Além desses aspectos, vale ressaltar a importância em considerar a resolução espacial do sensor com o qual está trabalhando, pois, os resultados para uma mesma cena e data de aquisição de dados podem variar dramaticamente em função dessa variável, que afeta a pureza espectral ou composição do *pixel* (PONZONI, 2012).

Outro Índice de vegetação muito utilizado é o SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*). Tal índice, proposto por Huete (1988), possui a propriedade de minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, o fator L no denominador da equação NDVI. O SAVI foi um índice desenvolvido com o objetivo de melhorar os valores de NDVI sem necessidades de medições em campo para cada área de análise (JENSEN, 2009). O fator L varia com a característica da reflectância do solo (calor e brilho) e vai variar dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar. Para vegetação muito baixa, é sugerido utilizar o fator $L = 1.0$, para vegetação intermediária $L = 0,5$, para altas densidades $L = 0,25$. A utilização do $L = 0$ os valores do SAVI serão idênticos ao NDVI, e para o $L = 100$ os valores do SAVI serão aproximados ao do PVI. A equação do SAVI é escrita da seguinte maneira:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} * (1 + L)$$

L = variável de ajuste do solo

O IAF (Índice de Área Foliar) é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é indicador da biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo é calculado pela seguinte equação empírica obtida por ALLEN et al. (2002):

$$IAF = \ln \frac{\left(\frac{0.69 - SAVI}{0.59} \right)}{0.91}$$

O IAF é um importante parâmetro biofísico da vegetação, sendo definido como a área foliar total projetada por unidade de área de terreno (m^2 / m^2) (DAUGHTRY et al., 1992). Sua importância deve-se à relação com a biomassa vegetal e por caracterizar a arquitetura do dossel, fornecendo informações importantes sobre o vigor da cobertura vegetada e justificando a diversidade de estudos em Sensoriamento Remoto envolvendo estimativas deste parâmetro. Estas estimativas permitem uma avaliação das condições fisionômicas e fisiológicas dos dosséis e análises quantitativa e qualitativa das trocas energia/matéria ocorridas nos mesmos (HABOUDANE et al., 2004).

2.4 Satélite Sentinel 2A

O conjunto de satélites Sentinels foi idealizado e desenvolvido no âmbito do Programa da Componente Espaço para dar resposta aos requisitos do Copernicus.

A missão Sentinel 1 opera na região das micro-ondas e as missões Sentinel 2 e 3 nas regiões do visível e do infravermelho do espectro eletromagnético. As missões Sentinel 1 e 3 são dedicadas ao monitoramento dos meios terrestre e marinho, enquanto que a Sentinel 2 é basicamente destinada ao monitoramento do meio terrestre. Cada uma das missões Sentinel 1, 2 e 3 são compostas por dois satélites que atuam conjuntamente com a finalidade de aumentar a constância de aquisição de imagens. Na primeira etapa, cada uma destas missões possui as unidades A e B e numa segunda fase serão acrescentadas as unidades C e D.

Falando especificamente do Sentinel 2A, tem-se um satélite com uma órbita quase-polar que dispõe de um sensor MSI (*MultiSpectral Instrument*) com 13 bandas espectrais, com grande resolução espacial (10, 20 ou 60 m, dependendo da banda) e uma resolução temporal de 10 dias com um satélite e de 5 dias apenas com os dois satélites operacionais. A tabela 2 ilustra as características do Sentinel 2A.

Resolução	Nº da banda	Nome da Banda	Comprimento da Onda (nanômetro)
10 metros	B2	Blue (Azul)	490
	B3	Green (Verde)	560
	B4	Red (Vermelho)	665
	B8	NIR (Infravermelho Próximo)	842
20 metros	B5	Red Edge 1	705
	B6	Red Edge 2	740
	B7	Red Edge 3	783
	B8A	Red Edge 4	865
	B11	SWIR 1	1610
	B12	SWIR 2	2190
60 metros	B1	Aerossol	443
	B9	Water Vapor	940
	B10	Cirrus	1375

Tabela 2: Especificações do satélite Sentinel 2A

Organizado pelo autor

Fonte: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>

3. Referências

ADDISCOTT, T.M.; BENJAMIN, N. Nitrate and human health. **Soil and Use Manage.** London, Inglaterra. v.20, p.98-104, 2004.

AMARO FILHO, J.; NEGREIROS, R. F. D.; ASSIS JUNIOR, R. N.; MOTA, J. C. A. Amostragem e variabilidade espacial de atributos físicos de um Latossolo Vermelho em Mossoró, RN. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** vol.31, n.3, p. 415-422, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000300001>

BERNARDO, Luciano Tiago. LUCIANO TIAGO BERNARDO AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE : um estudo comparativo entre os sistemas de produção patronal e familiar em Monte Carmelo e Iraí de Minas (MG). 2001.

BIRTH, G. S.; MCVEY, G. Measuring the colour of growing turf with a reflectance spectrophotometer. *Agronomy Journal*, v. 60, n. 6, p. 640-643, 1968.
<https://doi.org/10.2134/agronj1968.00021962006000060016x>

BRANDÃO, Z. N. Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto. 2009. 152 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009

BROGE, N. H.; LEBLANC, E. Comparing prediction power and stability of broadband and hyperspectral vegetation indices for estimation of green leaf area index and canopy chlorophyll density. *Remote Sensing of Environment*, v. 76, n. 6, p. 156- 172, 2001.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00197-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00197-8)

COLWELL, R. N. **Manual of remote sensing**. [s.l.] American Society of Photogrammetry, 1983.

Colwell, R. N., 1997, "history and place of Photographic interpretation", in *Manual of photographic interpretation*, 2nd Ed, W.R. Phillipson (Ed), Bethesda: ASPRS, 33-48

FERREIRA, A S; PIRES, R R; RABELO, P G; OLIVEIRA, R C; LUZ, J M Q; BRITO, C H (2013). Implications of *Azospirillum brasilense* inoculation and nutrient addition on maize in soils of the Brazilian Cerrado under greenhouse and field conditions. *Applied Soil Ecology*, v. 72, p. 103-108. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.05.020>

GITELSON, A. A.; GRITZ, Y.; MERZLYAK, M. N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. *Journal of Plant Physiology*, v. 160, n. 3, p. 271-282, 2003. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00887>

GITELSON, A. A.; KAUFMAN, Y. J.; MERZLYAK, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 58, n. 3, p. 289-298, 1996. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00072-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00072-7)

HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; PATTEY E.; ZARCOTEJADA, P. J.; STRACHAN, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. *Remote Sensing of Environment*, v. 90, n. 3, p. 337-352, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.12.013>

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(88\)90106-X](https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90106-X)

HUETE, A. R.; LIU, H. Q.; BATCHILY, K.; VAN LEEUWEN, W. A comparison of vegetation indices global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)

KAUFMAN, Y. J.; TANRE, D. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI). IEEE Transaction Geoscience Remote Sensing, v. 30, n. 2, p. 261-270, 1992.
<https://doi.org/10.1109/36.134076>

KNOB, M. J. Aplicação de técnicas de agricultura de precisão em pequenas propriedades. Santa Maria: UFSM, 2006. 129p. Dissertação Mestrado

NEUMANN, G.; RÖMHELD, V. (2007). The release of root exudates as affected by the plant physiological status. In Pinton, R. Varanini, Z. Nannipieri, P. The rhizosphere: Biochemistry and organic substances at the soil-plant interface. Second Edition. CRC Press, taylor & Francis Group, p.23-72. <https://doi.org/10.1201/9781420005585.ch2>

PAUL, E. A. (2007). Soil Microbiology, Ecology, and Biochemistry. Third Edition. Academic Press, USA, 532p.

PEÑUELAS, J.; BARET, F.; FILELLA, I. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. Photosynthetica v. 31, p. 221-230, 1995.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Yosio Edemir ; Kuplich, T. M. . Sensoriamento Remoto da Vegetação. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012. v. 1. 176p.

QI, J.; CHEHBOUNI, A.; HUETE A.R.; KERR, Y. H.; SOROOSHIAN, S. A modified soil adjusted vegetation index. Remote Sensing Environmental, v. 48, p. 119-126, 1994.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)90134-1](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)90134-1)

RONDEAUX, G.; STEVEN, M.; BARET, F. Optimization of soiladjusted vegetation indices. Remote Sensing of Environment, v. 55, n. 2, p. 95-107, 1996.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(95\)00186-7](https://doi.org/10.1016/0034-4257(95)00186-7)

ROUJEAN, J. L.; BREON, F. M. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. Remote Sensing of Environment, v. 51, n. 3, p. 375-384, 1995. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00114-3](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)00114-3)

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. Texas: Texas A&M University, 1974. (Type III final rep. NASA/ GSFC).

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL J. A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., Washington, D.C., 1973. Proceedings. Washington, D.C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1973. v.1, p.309-317. (NASA SP-351).

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing, models, and methods for image processing.** [s.l: s.n.]. v. 187

SUMNER, M.E. Amelioration of subsoil acidity with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N.S. & STEWART, B.A., eds. Subsoil management techniques. Athens, Lewis Publishers, 1995. p.147-185.

TUCKER, Compton J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, n. 2, p. 127–150, 1979.
[https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)

CAPÍTULO 2 - Atributos Químicos do Solo

1. RESUMO

SERATO, DOUGLAS SANTANA, **Atributos químicos do solo**. 2017. 66p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia – MG³

Estudos regionais que utilizem de ferramentas de fácil acesso a informações agrupadas podem auxiliar em diversos diagnósticos relacionados com uso e ocupação de solos. Buscar estratégias e métodos para obtenção de informações sobre solos, utilizando dados reais e agrupando a ferramentas de georreferenciamento como alternativa para reduzir os custos dos mapeamentos de solos convencionais podem regionalmente possibilitar monitoramentos mais frequentes, disponibilizando ferramentas confiáveis para definir estratégias de uso e ocupação e de políticas públicas. Buscou-se utilizar a ferramenta da geração de mapas, que agrupam visualmente informações em função dos dados reais coletados, espacializando a informação com o uso de semivariogramas. No entanto, a expansão da fronteira agrícola, em algumas regiões, não foi acompanhada por diagnósticos das alterações ocorridas em função de desmatamentos, adoção de mecanização intensiva e uso de práticas de manejo inadequadas, que podem promover alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Sendo assim, essa pesquisa se justifica pelo intento de oferecer um estudo de base, do diagnóstico de atributos químicos do solo do município de Monte Carmelo, visando servir de subsídios para futuras ações estratégicas, e estabelecer o manejo adequado e sustentável dos solos.

PALAVRAS-CHAVE: Atributos químicos do solo, Espacialização, Semivariograma

³ Comitê orientador: Adriane de Andrade Silva – Universidade Federal de Uberlândia e Claudionor Ribeiro da Silva – Universidade Federal de Uberlândia

2. ABSTRACT

SERATO, DOUGLAS SANTANA, **Chemical attributes of the**. 2017. 66p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia – MG⁴

Regional studies using tools with easy access to pooled information can aid in various diagnoses related to land use and occupation. Searching strategies and methods for obtaining information on soils, using real data and grouping georeferencing tools as an alternative to reduce the costs of conventional soil mappings can regionally enable more frequent monitoring, providing reliable tools to define strategies of use and occupation and public policy. We tried to use the tool of generation of maps, which visually group information according to the actual data collected, spatializing the information with the use of semivariograms. However, the expansion of the agricultural frontier in some regions was not accompanied by diagnoses of alterations due to deforestation, the adoption of intensive mechanization and the use of inadequate management practices that may promote changes in the chemical, physical and biological properties of the soil . Thus, this research is justified by the attempt to offer a basic study of the diagnosis of soil chemical attributes of the municipality of Monte Carmelo, aiming to serve as subsidies for future strategic actions, and to establish adequate and sustainable management of soils.

KEYWORDS: Espacialization, Soil chemical attributes, semivariogram

⁴ Supervising Comunittee: Adriane de Andrade Silva – Universidade Federal de Uberlândia e Claudionor Ribeiro da Silva – Universidade Federal de Uberlândia

3. Introdução

Estudos regionais que se utilizem de ferramentas de fácil acesso a informações agrupadas podem auxiliar em diversos diagnósticos relacionados com uso e ocupação de solos. A geração de mapas de solos, e estudos de atributos químicos de solo, podem ser um ponto de partida importante para tomada de decisão. Atualmente em uma visão macro temos poucas regiões com mapas de solos com levantamentos em uma escala menor do que 1:25.000 (CHAGAS et al., 2011), e sabe-se que recursos para trabalhar esses atributos em escalas menores, dificilmente serão obtidos com facilidade por órgãos de fomento.

Buscar estratégias e métodos para obtenção de informações sobre solos, utilizando dados reais e agrupando a ferramentas de georreferenciamento como alternativa para reduzir os custos dos mapeamentos de solos convencionais podem possibilitar monitoramentos mais frequentes regionalmente, disponibilizando ferramentas confiáveis para definir estratégias de uso e ocupação e de políticas públicas. O uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG) é uma ferramenta utilizada para o armazenamento, análise e manipulação de dados, sendo, portanto, útil para o mapeamento da fertilidade, na definição do planejamento do uso e manejo agrícola. Sabe-se da grande variabilidade espacial que pode ser observada em uma região em relação ao estudo de determinados atributos do solo. Mas, esses atributos e a avaliação da fertilidade da área e conhecimentos das classificações agronômicas de como se encontram alguns nutrientes no solo e suas classes de interpretação podem gerar diagnósticos importantes.

Buscou-se utilizar a ferramenta da geração de mapas, que agrupam visualmente informações em função dos dados reais coletados, espacializando a informação com o uso de semivariogramas que são gráficos da variância de medidas de amostras pareadas, como uma função da distância entre elas, fornecendo um meio de quantificar a tendência comumente observada de amostras agrupadas possuírem valores mais aproximados do que amostras mais largamente separadas, podendo ser representadas por modelos teóricos (Vetoratto, 2003). Essa mesma abordagem foi realizada por Lopes e Guilherme (2016), em um estudo das perspectivas do manejo do solo no Cerrado brasileiro, em que avaliou as principais classes de fertilidade do solo.

Nas últimas décadas, as atividades agrícolas vêm modificando a cobertura vegetal original de parte do território brasileiro. Ecossistemas naturais, como o Cerrado e a Floresta Amazônica, vêm, há muito tempo, perdendo suas propriedades originais, devido à implantação de atividades agropecuárias ou extrativistas (Longo & Spíndola, 2000).

Para incorporar as áreas de cerrado ao sistema agrícola, foi necessária a utilização de técnicas que fizessem a correção dos principais problemas relacionados à fertilidade (Lopes et al., 1994). Dessa forma, a correção da acidez do solo, adubação e seu manejo são técnicas fundamentais e que garantem a melhoria de sua qualidade, principalmente no caso de agrossistemas em regiões de clima tropical (Balota et al., 2004).

A ação antrópica sobre o cerrado é capaz de melhorar condição natural da fertilidade dos solos, desde que seja realizado o manejo adequado deles. No entanto, a expansão da fronteira agrícola, em algumas regiões não foram acompanhadas por diagnósticos das alterações ocorridas em função de desmatamentos, adoção de mecanização intensiva e uso de práticas de manejo inadequadas, que podem promover alterações nas propriedades químicas, físicas e biológicas da área.

Sendo assim, essa pesquisa se justifica pelo intento de oferecer um estudo de base, do diagnóstico de atributos químicos do solo do município de Monte Carmelo, visando servir de subsídios para futuras ações estratégicas, e estabelecer o manejo adequado e sustentável de territórios agricultáveis. Objetiva-se gerar mapas para avaliar a fertilidade do solo no município de Monte Carmelo (Cerrado mineiro), e obter histogramas de frequência, e comparar com as classes de interpretações de seus atributos químicos, de acordo com a 5ª Aproximação da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais de 1999 (CFSEMG, 1999).

4. Materiais e métodos

A área de estudo corresponde ao Município de Monte Carmelo - MG, localizada na Mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba do Estado de Minas Gerais, entre as coordenadas geográficas 18° 44' 5" de latitude Sul e 47° 29' 47" de longitude Oeste de Greenwich, com altitude em torno de 890 m e ocupando uma área de extensão de 1.343 Km² (IBGE, 2016).

Apresenta clima predominante tropical com duas estações bem definidas ao longo do ano: Inverno seco com temperaturas mais amenas (média de 20 °C), e Verão quente e úmido (média de 25 °C), com precipitação média anual de 1444 mm. A classificação do clima é Aw segundo Köppen e Geiger com uma temperatura média de 21.2°C.

A vegetação natural local da área estudada está inserida no Bioma Cerrado. De acordo com Coutinho (2006) esse bioma deve ser considerado como um complexo de biomas, pois é formado por um mosaico de comunidades ecologicamente relacionadas,

que vai do campo sujo ao Cerradão. Essa área teve sua vegetação natural gradativamente substituída por pastagens, culturas anuais e perenes, em função da expansão da agropecuária.

A etapa de coleta de dados em campo foi realizada com deslocamento de aproximadamente 200 km dentro do Município de Monte Carmelo, utilizando-se as principais vias (estradas rurais), identificadas através de imagens de satélites e que davam acessos às principais comunidades rurais da cidade.

Para a seleção das áreas amostradas foram considerados os seguintes critérios: classe de solo (análise visual de alteração de coloração e textura), uso e ocupação do solo. Coletou-se 156 pontos para realização de análises dos atributos químicos de solo, com distribuição aleatória sobre todo o território do município de Monte Carmelo sobre diferentes usos, entre eles, culturas anuais, pastagem, café, áreas de reflorestamento, cana-de-açúcar, abacate, mamão, mandioca, banana e áreas com vegetação de cerrado e mata nativa. Das amostras coletadas, 40 foram em áreas com cultivo de café em diferentes estágios (café novo - cultivos recém implantados, de mudas a até 1 ano, antes do início de produção; café em início de produção - 2 anos a 4 anos; café estabelecido, em pleno processo produtivo; café velho - estabelecido há mais de 10 anos, e/ou com necessidade de substituição, ou recepa e outras práticas), 36 amostras de pastagens (em diferentes graus de degradação; cultivadas e bem estabelecidas; com variabilidade de espécies); 31 amostras de áreas com cereais (milho, feijão, sorgo e trigo), 23 amostras de matas nativas e cerrado, 18 em áreas com práticas de reflorestamento e/ou cultivo de espécies florestais (com presença de eucalipto e mogno) e 8 com culturas diversas, que não representam muitas áreas de uso na região (tomate, abacate, mamão, banana, mandioca e cana-de-açúcar).

As coletas foram realizadas na profundidade de 0 a 20 cm, com trado do tipo Holandês, e com o auxílio de um Sistema de Posicionamento Global (GPS) foram georreferenciadas e obtidas as coordenadas geográficas, e anotado o uso observado da área. Em cada ponto amostral foram retiradas aleatoriamente amostras simples, em seguida essas amostras foram misturadas e homogeneizadas para formar uma amostra composta, com uso de baldes limpos e sem contaminação, cada amostra foi identificada e lacrada para encaminhamento ao Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS).

As amostras foram encaminhadas para o LABAS onde foram determinados os seguintes atributos químicos: fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}),

alumínio (Al^{3+}), acidez ativa (pH em água), acidez potencial ($H+Al$), soma de bases (SB), Carbono Orgânico Total (COT); capacidade de troca de cátions efetiva (t) e CTC total (T), ou seja, CTC obtida à pH 7,0, saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m), conforme metodologia proposta por Embrapa (2011). As análises foram utilizadas para se conhecer a distribuição dos elementos ao longo da área estudada, avaliando sua frequência e gerando mapas para, posteriormente, serem classificados de acordo com a disponibilidade dos mesmos no solo, como o Fósforo (P), o Alumínio (Al), o Potássio (K), o Cálcio (Ca), o Magnésio (Mg), o pH, a Saturação por bases (V%) e a Matéria Orgânica (M.O.).

As classes de fertilidade (muito alta, alta, média, baixa e muito baixa) foram obtidas, tendo como referências as faixas descritas pela CFSEMG (1999), como demonstrado na tabela 3.

Tabela 3. Classes de interpretação de fertilidade do solo para matéria orgânica e para complexo de troca catiônica

Características	Unidade ^{1/}	Classificação				
		Muito baixo	Baixo	Médio ^{2/}	Bom	Muito bom
Carbono orgânico (C,O) ^{3/}	dag/kg	≤ 0,40	0,41 - 1,16	1,17 - 2,32	2,33 - 4,06	> 4,06
Matéria Orgânica (M,O) ^{3/}	dag/kg	≤ 0,70	0,71 - 2,00	2,01 - 4,00	4,01 - 7,00	> 7,00
Cálcio trocável (Ca ²⁺) ^{4/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,40	0,41 - 1,20	1,21 - 2,40	2,41 - 4,00	> 4,00
Magnésio trocável (Mg ²⁺) ^{4/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,15	0,16 - 0,45	0,46 - 0,90	0,91 - 1,50	> 1,50
Acidez trocável (Al ³⁺) ^{4/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,20	0,21 - 0,50	0,51 - 1,00	1,01 - 2,00 ^{11/}	> 2,00 ^{11/}
Soma de bases (SB) ^{5/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,60	0,61 - 1,80	1,81 - 3,60	3,61 - 6,00	> 6,00
Acidez potencial (H+AL) ^{6/}	cmol _c /dm ³	≤ 1,00	1,01 - 2,50	2,51 - 5,00	5,01 - 9,00 ^{11/}	> 9,00 ^{11/}
CTC efetiva (t) ^{7/}	cmol _c /dm ³	≤ 0,80	0,81 - 2,30	2,31 - 4,60	4,61 - 8,00	> 8,00
CTC pH 7 (T) ^{8/}	cmol _c /dm ³	≤ 1,60	1,61 - 4,30	4,31 - 8,60	8,61 - 15,00	> 15,00
Saturação por Al ³⁺ (m) ^{9/}	%	≤ 15,0	15,1 - 30,0	30,1 - 50,0	50,1 - 75,0 ^{11/}	> 75,0 ^{11/}
Saturação por bases (V) ^{10/}	%	≤ 20,0	20,1 - 40,0	40,1 - 60,0	60,1 - 80,0	> 80,0

^{1/} dag/kg = % (m/m); cmol_c/dm³ = meq/100 cm³. ^{2/} O limite superior desta classe indica o nível crítico. ^{3/} Método Walkley & Black; M.O. = 1.724 x C.O. ^{4/} Método KCL 1 mol/L. ^{5/} SB = Ca²⁺ + K⁺ + Na⁺. ^{6/} H + Al, Método Ca(Oac)₂ 0.5 mol/L, pH 7. ^{7/} t = SB + Al³⁺. ^{8/} T = SB + (H + Al). ^{9/} m = 100 Al³⁺/t. ^{10/} V = 100 SB/T. ^{11/} A interpretação destas características, nestas classes, deve ser alta e muito alta em lugar de bom e muito bom.

A elaboração dos mapas, produtos dos resultados das coletas dos solos, foi realizada utilizando o software ARCGIS 10.3. No software Microsoft Excel 2016, foi organizado um arquivo com os resultados dos pontos de amostras de solos coletados em campo. Já no ambiente SIG foi gerado, a partir do arquivo Excel, um arquivo vetorial dos pontos coletados. Criou-se um banco de dados com as informações espaciais de cada ponto amostrado, assim como informações provenientes do laboratório de análise de solos (LABAS). Com esses dados tabulados, foi utilizado o método de interpolação do tipo Krigagem para espacializar os resultados das análises de solo para cada elemento analisado. Os resultados das Krigagens foram reclassificados em 5 classes sendo os valores classificados da seguinte maneira: ≤ 20 (Muito Baixo); 20,1 – 40 (Baixo); 40,1 – 60 (Médio); 60,1 – 80 (Bom) ≥ 80 (Muito Bom) (RIBEIRO, 1999).

As análises estatísticas e gráficos de densidade e frequência de cada elemento do solo foram gerados no software R (R CORE TEAM, 2016).

5. Resultados e discussão

5.1 Fósforo (P)

A classificação de fósforo (P) dos solos de acordo com a CFSEMG (1999), depende da textura para sua interpretação, os solos da cidade de Monte Carmelo, tem muitas áreas com texturas argilosas e muito argilosas, mas também encontramos solos com textura média tendendo a arenosa. Como o objetivo, nessa avaliação, foi trabalhar com valores médios, iremos adotar para os solos a textura predominante na região, que é de solos de textura argilosa (35 a 60 % de argila).

Observa-se que 70% das amostras estão enquadradas com valores entre 0 e 15 mg dm⁻³, ou seja, classificados como teor médio, que a maioria das amostras (109 amostras), se enquadram nessa categoria era esperado, pois o fósforo é um nutriente que tem particularidades muito distintas em relação aos processos de adsorção. Se os solos da região fossem em sua maioria solos de textura média, esses teores estariam enquadrados como baixos. O fósforo em solos argilosos tem maior probabilidade de adsorção, pois são solos que normalmente possuem mais cargas, pontos de adsorção.

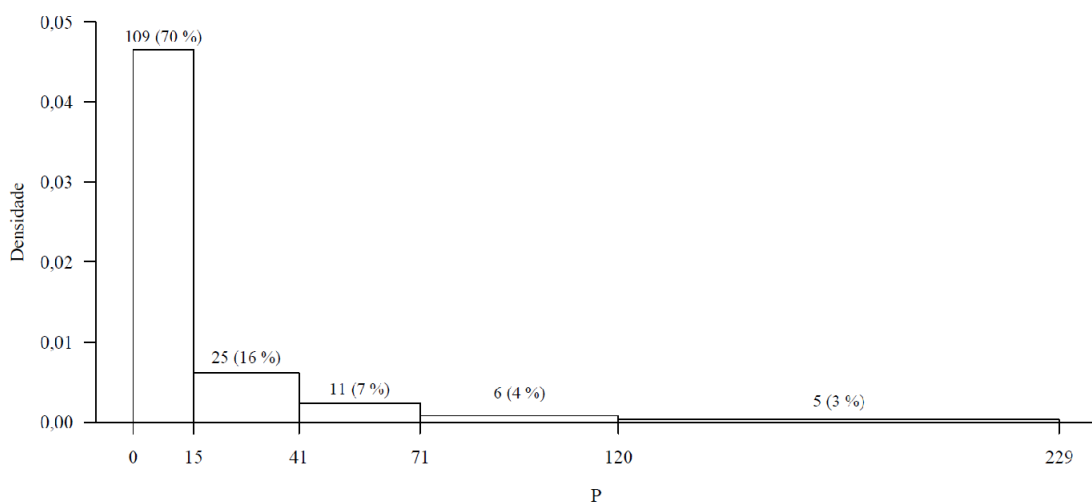


Figura 3 - Distribuição de Semivariograma das frequências dos teores de fósforo (mg dm⁻³) no município de Monte Carmelo- MG

O conhecimento de atributos do solo, que reflete o poder de adsorção de fósforo, permite o aprimoramento do diagnóstico da dinâmica deste elemento no solo e da sua disponibilidade para os vegetais (NOVAIS; SMYTH, 1999).

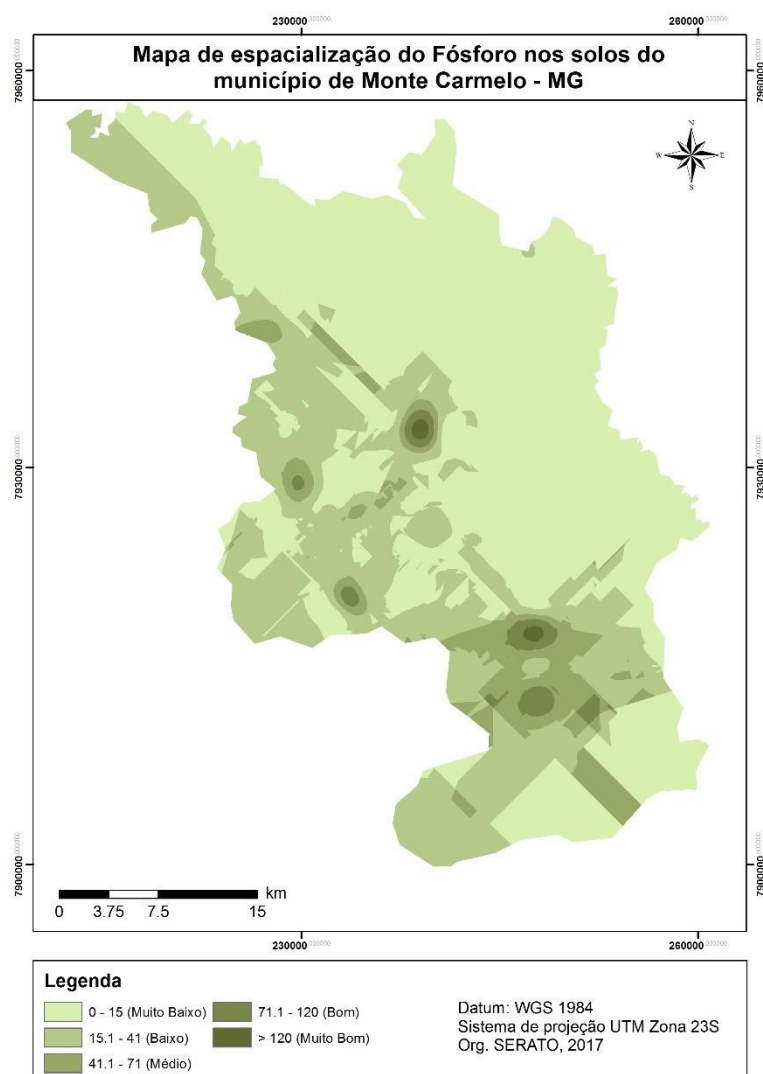


Figura 4 – Mapa de distribuição espacial do fósforo nos solos do município de Monte Carmelo – MG

5.2 Alumínio (Al)

O Al é o metal mais abundante nos solos, já que a maioria dos minerais primários e secundários das rochas, originados pela atuação do intemperismo, são aluminossilicatos, que ao serem decompostos pela água com gás carbônico, disponibilizam o alumínio na

forma trocável (Al^{3+}), tendo o pH como o maior fator no controle da sua disponibilidade no solo. (MALAVOLTA, 1980).

As consequências fitotóxicas ocasionadas pelo alumínio são bastante dependentes de pH, concentrações de sais, compostos orgânicos, temperatura e espécie vegetal, causas que podem ser modificadas conforme a natureza da composição química da espécie ou do substrato estudado (Camargo & Furlani, 1989).

A principal decorrência das condições tóxicas de alumínio vem consistindo em um reduzido desenvolvimento radicular de plantas sensíveis, já que prejudica o alongamento e a divisão celular. Com isso, as plantas não adquirem água e nutrientes do subsolo adequadamente, pelo seu enraizamento superficial, tornando-as mais susceptíveis à seca e com menores produtividades.

Os dados expressados na FIGURA 4, mostra que apenas 7% das amostras apresentaram mais de $1,0 \text{ cmolc dm}^{-3}$ (alta acidez) e 83% das amostras expressaram resultados com menos de $0,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ de Al^{3+} (acidez baixa e muito baixa), o que adverte que, embora a condição bastante ácida desses solos como citado anteriormente, o valor total para o próprio Al^{3+} não é muito alto.

No entanto, os níveis muito baixos relatados para Ca e Mg revelaram que Al^{3+} exercerá um desempenho importante nesses solos, uma vez que o Al^{3+} é o cátion dominante neles. Como a principal forma de correção de Ca e Mg nos solos nas regiões tropicais é o uso de corretivos de acidez, que também contribuem para a sua redução. Pode-se observar que a região pode realizar uma melhor conscientização dos produtores rurais, trabalhando com a extensão rural no sentido de incentivar práticas e informar os benefícios da correção de solos.

Dessa maneira, deve-se lembrar que na região há diversos usos perenes no solo, como cultivos de café que a opção para restaurar a fertilidade desses solos não é a incorporação profunda de corretivos e fertilizantes, E uma grande presença de áreas de pastagens degradadas que podem ser submetidas ao processo de renovação e a incorporação dos corretivos torna-se alternativa para que ultrapassem as camadas mais superficiais, facilitando o desenvolvimento normal do sistema radicular das plantas.

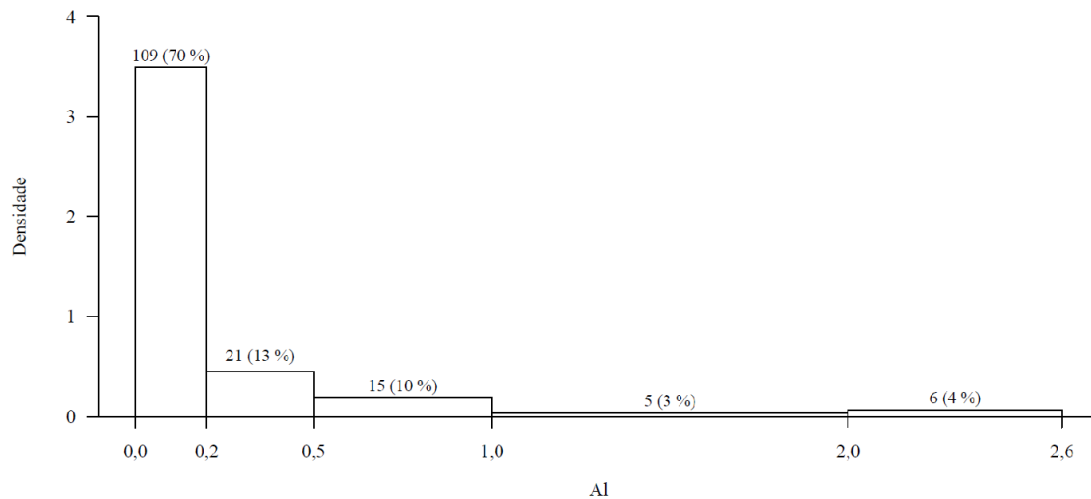


Figura 5 - Distribuição de Semivariograma das frequências dos teores de alumínio (mg dm⁻³) no município de Monte Carmelo- MG

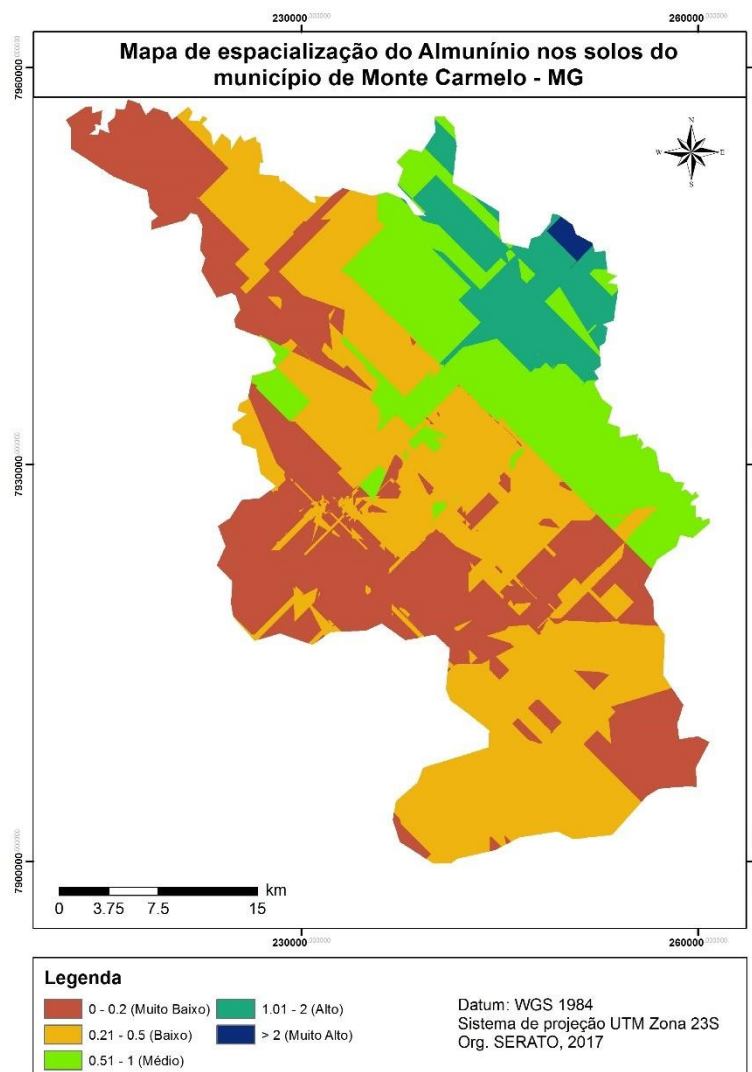


Figura 6 - Mapa de distribuição espacial do alumínio nos solos do município de Monte Carmelo – MG

5.3 Cálcio (Ca)

O Cálcio (Ca) é um macronutriente catiônico secundário bastante importante para o crescimento das plantas, encontrado no solo na forma de carbonatos, sulfatos e silicatos e absorvidos pelas plantas na forma de íon Ca^{2+} . É encontrado em quantidades muito baixas nos solos ácidos das regiões tropicais, porém plantas que apresentam elevados teores de cálcio toleram melhor a toxidez de alguns nutrientes.

Considerando $1,2 \text{ cmolc dm}^{-3}$ como o limite superior para baixo nível de Ca, os resultados das análises apresentados na FIGURA 2, mostraram que 30% das amostras estavam abaixo dessa condição e que 70 % estão classificados de médio a muito bom nesse nutriente. Um dos grandes problemas é isolar o ponto da deficiência de cálcio com o problema da acidez excessiva, pois solos que apresentam deficiência em cálcio exibem em geral elevada acidez.

Pires et. al. 2003, analisando os teores de cálcio trocável e, considerando solos com menos de $1,5 \text{ cmolc dm}^{-3}$ de Ca trocável como deficientes, avaliou que os resultados para este elemento evidenciam que 65% estão abaixo deste valor. Esses resultados são similares aos observados neste experimento, indicando que na cidade de Monte Carmelo, os teores de cálcio observados estão em média semelhantes aos observados na região do Espírito Santo. Já Scheid e Lopes (2016), em trabalho com teores de Ca na década de 70 na região do Cerrado, observaram valores médios de $0,25 \text{ cmolc dm}^{-3}$. Esse valor, observado na época da abertura do Cerrado, hoje já é trabalhado com a consolidação da Calagem como prática de mérito agrônômico.

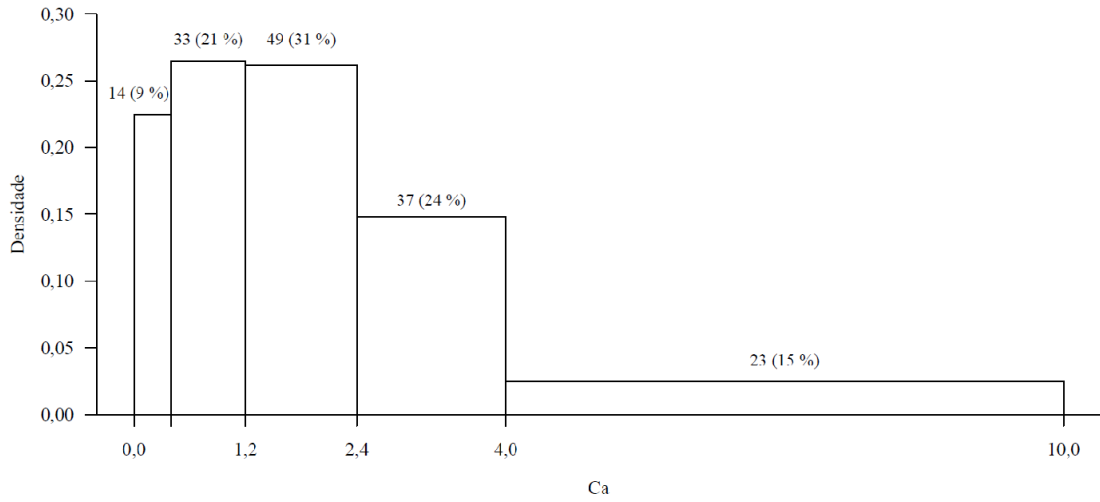


Figura 7 - Distribuição de Semivariograma das frequências dos teores de cálcio (mg dm^{-3}) no município de Monte Carmelo- MG

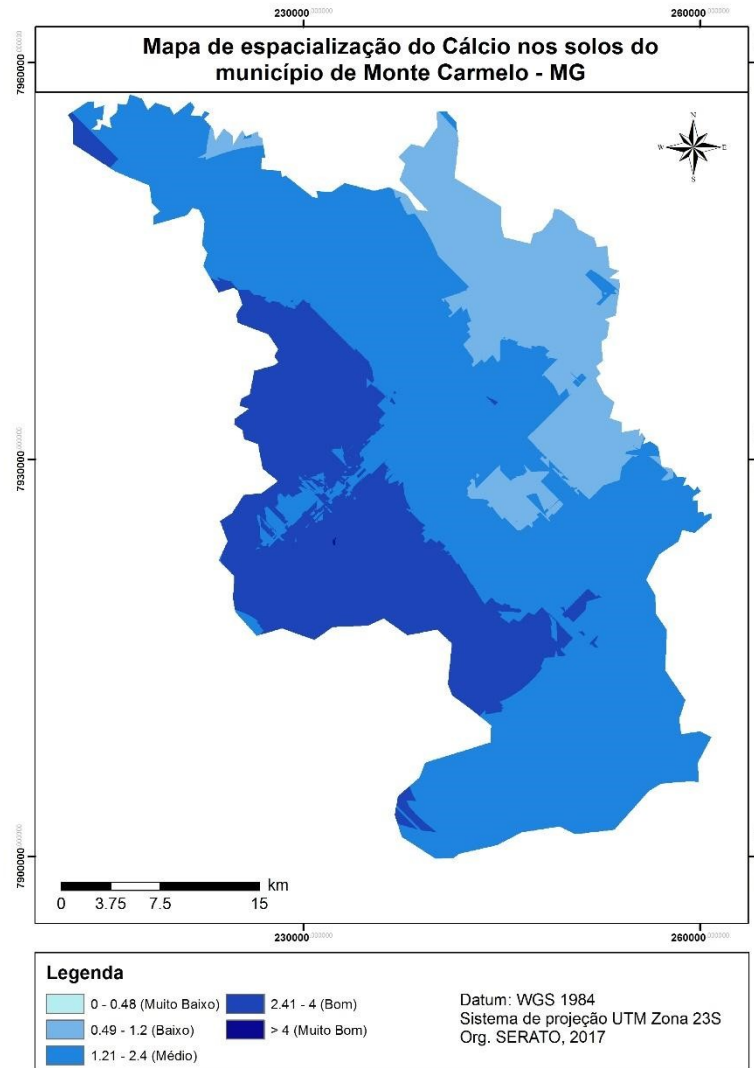


Figura 8 - Mapa de distribuição espacial do cálcio nos solos do município de Monte Carmelo – MG

5.4. Saturação alumínio (M)

A classificação da porcentagem de saturação de alumínio (m%) é apresentada na FIGURA 5. Os valores mostram que 81% das amostras apresentaram saturação por alumínio de baixa a muito baixa (9% e 72% respectivamente). A tolerância da maior parte das culturas sensíveis ao Al^{3+} é enfraquecido em solos com mais de 20% de saturação de alumínio (Kamprath, 1967), porém, se considerarmos uma saturação de alumínio de 30% como um ponto em que a maior parte das culturas cultivadas começam a sofrer devido à ausência de equilíbrio entre as bases e a concentração de alumínio, então, 18% das amostras encontram-se compreendidas nesta classe. Esses teores são bastante elevados, levando-se em consideração os danos que esta elevação pode causar nas plantas, reduzindo, inclusive, as cargas disponíveis na CTC do solo.

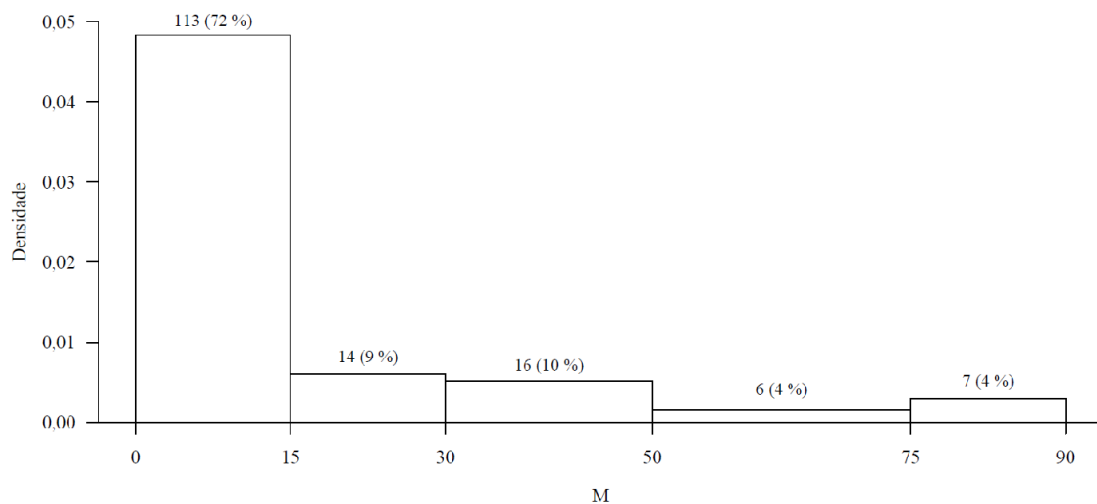


Figura 9 - Distribuição de Semivariograma das frequências dos teores de saturação de alumínio ($mg\ dm^{-3}$) no município de Monte Carmelo- MG

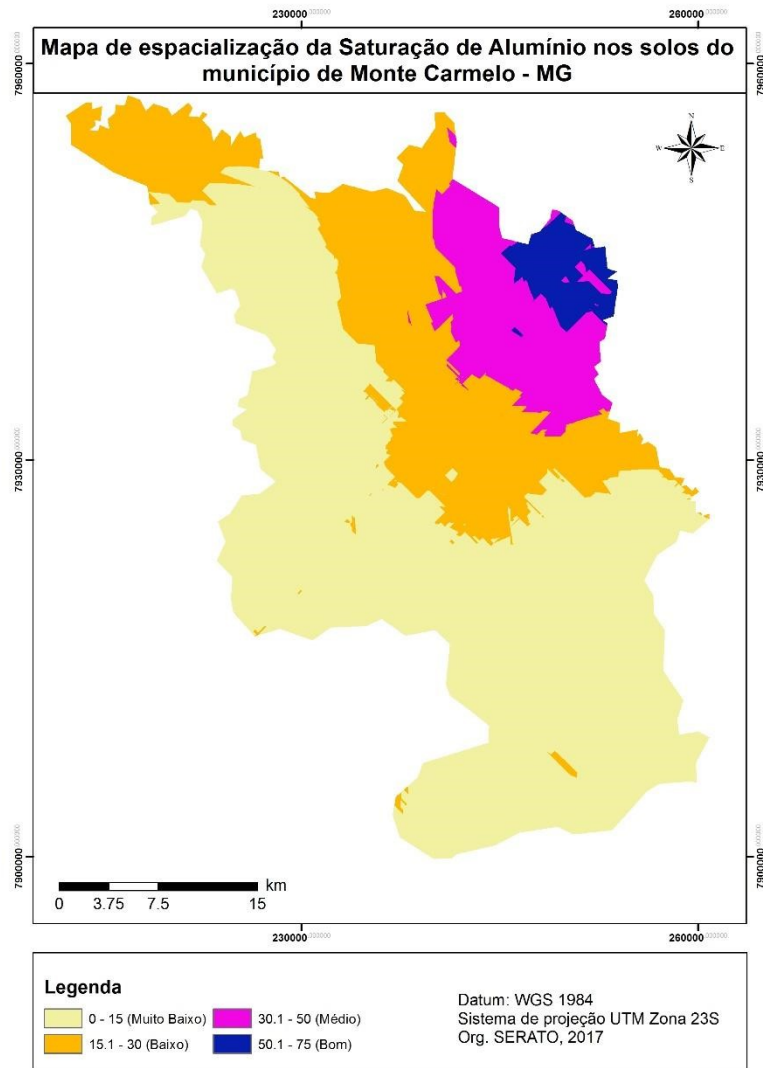


Figura 10 - Mapa de distribuição espacial da saturação do alumínio nos solos do município de Monte Carmelo – MG

5.5. Magnésio (Mg)

Assim como o cálcio, o magnésio (Mg) é um macronutriente catiônico e secundário, bastante utilizado pelas plantas. Nas plantas, o papel principal do Magnésio é como átomo central na molécula de clorofila, ou seja, ele faz parte nas reações de carboxilação da fotossíntese, com a função de coenzima na fixação de CO_2 . De tal modo que na baixa disponibilidade de Mg nas folhas, a fixação de CO_2 é limitada.

Nos cerrados do Brasil, aproximadamente 90% dos latossolos e argissolos apresentam deficiência de Mg, devido ao elevado nível de intemperismo e lixiviação. A deficiência desse macronutriente depende de múltiplos fatores como conteúdo de Mg no

solo ($< 48,6 \text{ mg/dm}^3$), percentual de intemperismo, intensidade de lixiviação, pela absorção das plantas, solos ácidos ($\text{pH} < 5,4$), elevado teor de potássio e outros cátions, pois os mesmos podem diminuir a assimilação de Mg, em consequência de uma absorção prioritária de K pelas plantas (Wendy, 2007).

A classificação de magnésio das amostras está resumida na FIGURA 3. Os dados de Mg mostram que 24% das amostras foram qualificadas como baixas e 9% como muito baixas, fazendo com que 33% das amostras exibissem valores iguais ou inferiores a $0,45 \text{ cmolc} / \text{dm}^3$ de Mg^{2+} , simbolizando um nível muito baixo de magnésio extraível. Destaca-se também que 35% das amostras estavam em níveis médio e somente 32% das amostras proporcionaram níveis altos em relação a este nutriente.

Desse modo, uma alternativa eficaz, seria o uso de calcários magnesianos, por ser a principal fonte de magnésio para as plantas, além do uso de fontes minerais que se baseiam principalmente de sulfatos, carbonatos e óxidos, seguidos pelos cloretos e nitratos.

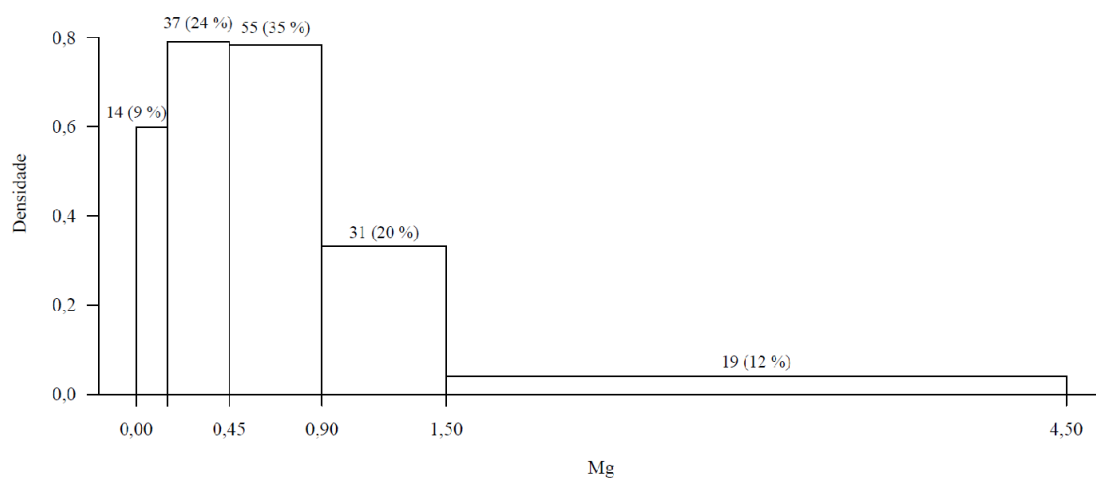


Figura 11 - Distribuição de Semivariograma das frequências dos teores de magnésio (mg dm^{-3}) no município de Monte Carmelo- MG

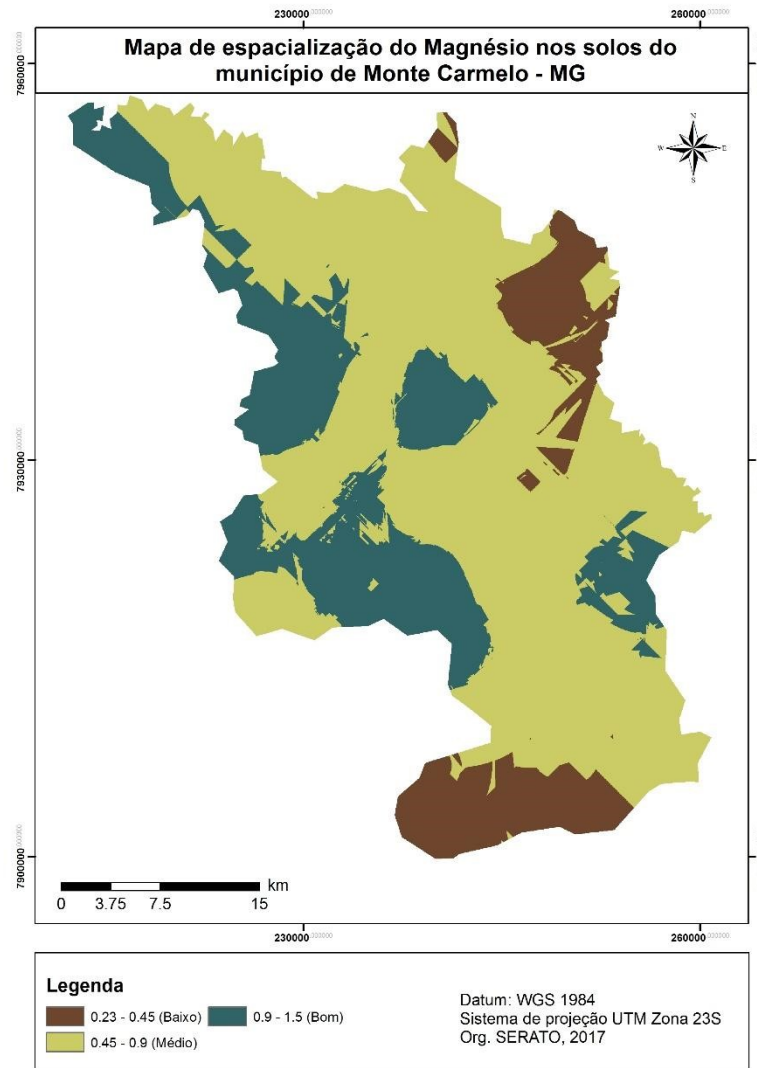


Figura 12 - Mapa de distribuição espacial do magnésio nos solos do município de Monte Carmelo – MG

5.6. Matéria Orgânica (MO)

Os resultados para matéria orgânica (MO) são apresentados na FIGURA 6, onde a maior parte das amostras (72%) exibiu 2,1-4,0 dag/kg, o que é conceituado como nível médio. Somente 14% eram baixos em MO (0,71 -2,0 dag/kg) e 15% apresentavam mais de 4 dag/kg, um nível elevado.

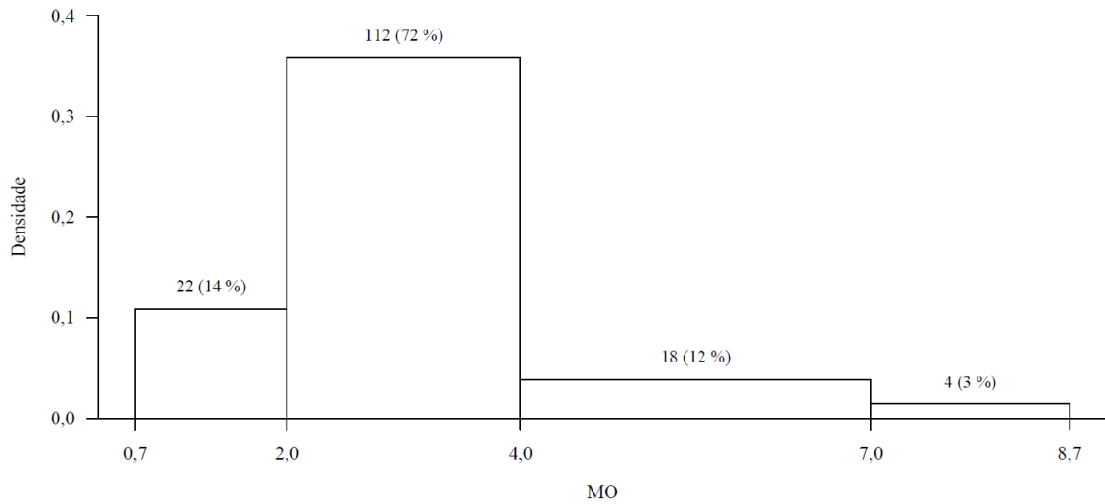


Figura 13 - Distribuição de Semivariograma das frequências dos teores de matéria orgânica (mg dm^{-3}) no município de Monte Carmelo- MG

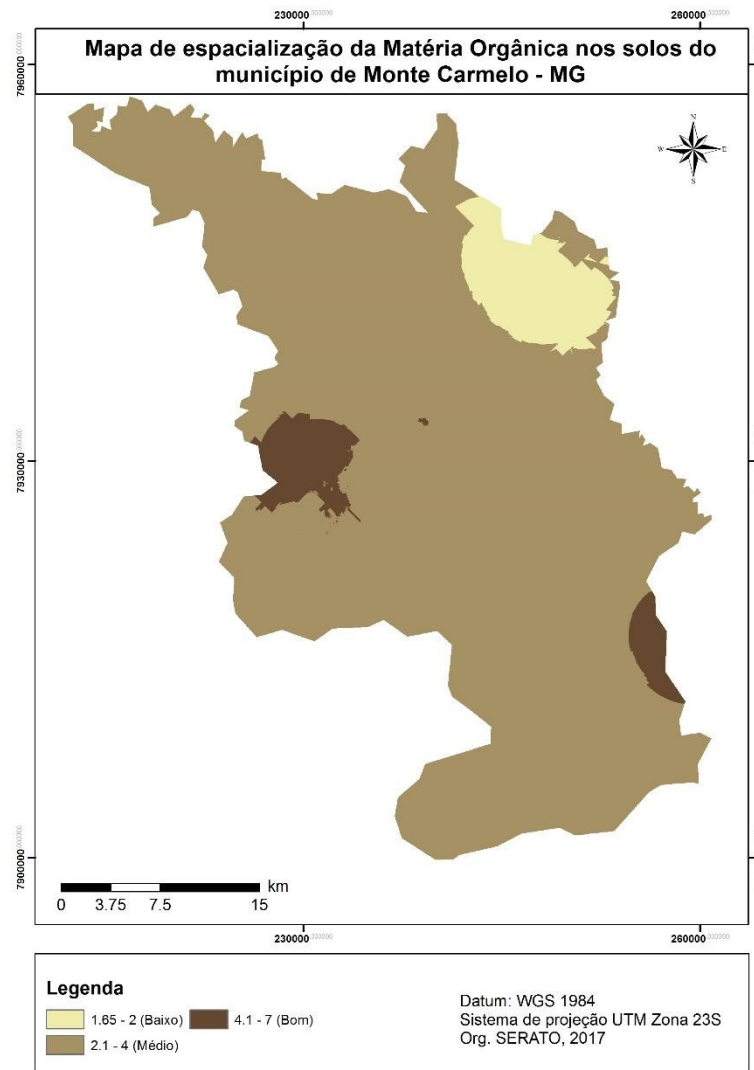


Figura 14 - Mapa de distribuição espacial da matéria orgânica nos solos do município de Monte Carmelo – MG

5.7. pH em Água

Analisando as amostras (Figura 1) pelo critério químico do pH, 70% estão nas faixas consideradas de acidez media a acidez elevada, 10% apresentaram acidez muito elevada, 19% de acidez fraca a neutra e por fim apenas 1% apresentou alcalinidade fraca.

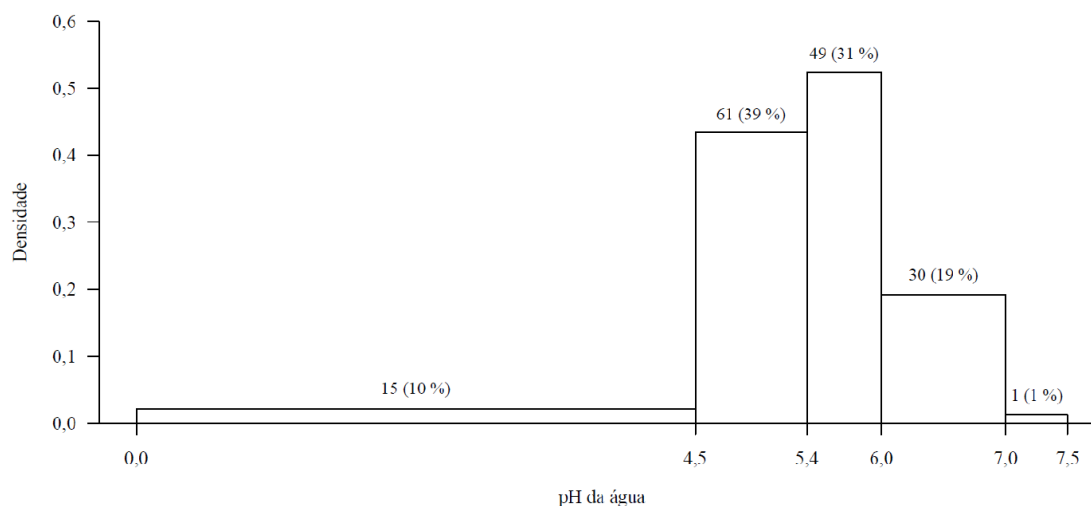


Figura 15 - Distribuição de Semivariograma das frequências de pH em água (mg dm^{-3}) no município de Monte Carmelo- MG

Já analisando pela classificação agrônômica, 31% das amostras estavam na faixa que se considera um pH bom (5,5 – 6,0), 39% apresentou pH baixo (4,5 – 5,4) onde vale ressaltar que nesta faixa a disponibilidade de alguns nutrientes como fosforo, potássio, cálcio, magnésio, dentre outros em algumas vezes são insuficientes para fornecer as necessidades de cada cultura, fazendo com que seja necessário o acréscimo de alguns elementos no solo.

Por fim, 10% das amostras apresentaram acidez ativa muito baixa, e 19% e 1% representaram pH alto e muito alto, respectivamente. A maioria das culturas apresenta boa produtividade quando no solo é obtido valor de pH entre 5,5 e 7, observando-se, através do histograma, que 50 % das amostras, estavam nesse intervalo. Esses valores indicaram, com nitidez, a propriedade ácida característica desses solos, destacando, nesse sentido, a necessidade de calagem adequada como a primeira prática agrícola para o cultivo de diversas culturas, pois solos muito ácidos não são férteis já que a disponibilidade de nutrientes é muito pequena para as plantas.

De acordo com as recomendações de adubação e calagem para o estado do Espírito Santo (Dadalto e Fullin, 2001), pesquisadores, realizando o levantamento da fertilidade nas principais unidades de mapeamento do Espírito Santo, observaram que 44% dos solos amostrados apresentam acidez ativa elevada e 47% acidez ativa média (Pires et al, 2003), ou seja, resultados similares aos observados neste experimento.

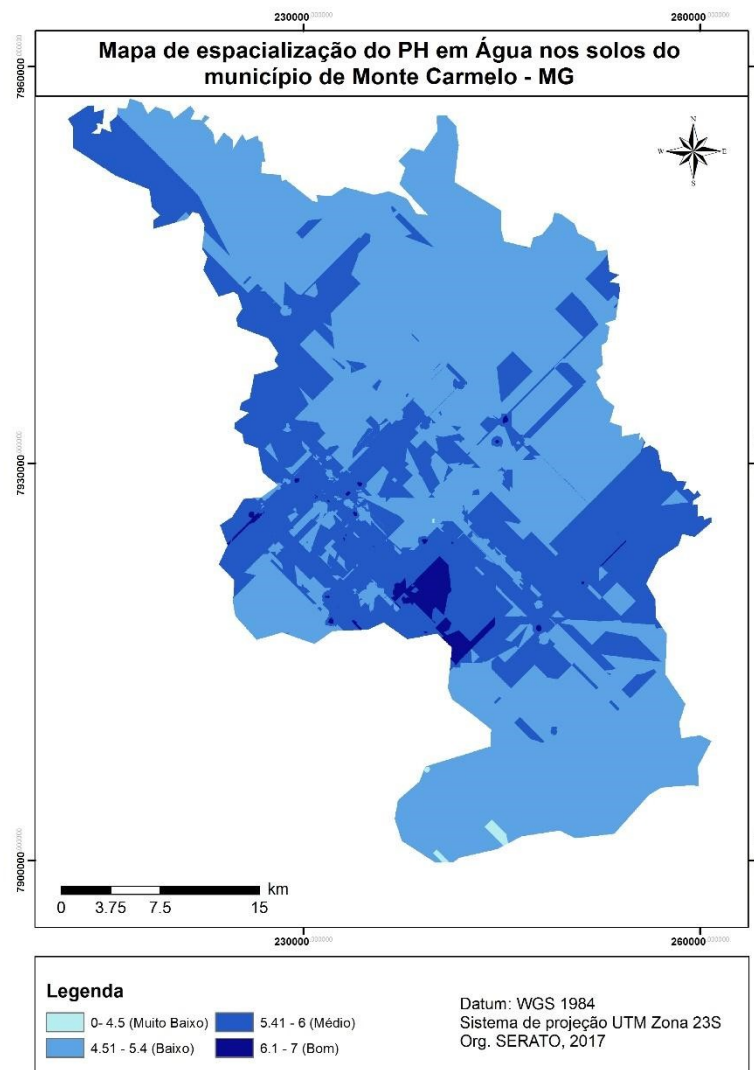


Figura 16 - Mapa de distribuição espacial do pH em água nos solos do município de Monte Carmelo – MG

5.8. Saturação por Bases (V)

Refere-se à proporção de cátions básicos trocáveis (taxa percentual, $V\% = 100 \cdot S/T$) em relação à capacidade de troca determinada a pH 7. A expressão alta saturação se aplica a solos com saturação por bases igual ou superior a 50% (Eutrófico) e baixa saturação para valores inferiores a 50% (Distrófico).

Esta característica está relacionada diretamente à fertilidade natural do solo onde os atributos Eutrófico (alta fertilidade) e Distrófico (baixa fertilidade) indicam a necessidade ou não de adubação para uso agrícola.

Na figura 17, temos a distribuição de semivariogramas das frequências encontradas na saturação por bases. A análise do gráfico possibilita identificar que entre 0% e 20% ocorreu a incidência de 19% das amostras. Nesse intervalo, de acordo com a classificação proposta pela CFSEMG, 1999, as amostras são classificadas como muita baixa fertilidade. Nos intervalos de 20% a 40% e 40% a 60%, concentram-se 58% das amostras coletadas, sendo classificadas de baixa a média fertilidade. Os 23 % restantes dividem-se entre Boa fertilidade (60 a 80%) e muito boa fertilidade (acima de 80%). Observa-se que mais da metade dos solos do município de Monte Carmelo apresentaram valores que os classificaram como sendo de baixa a média fertilidade.

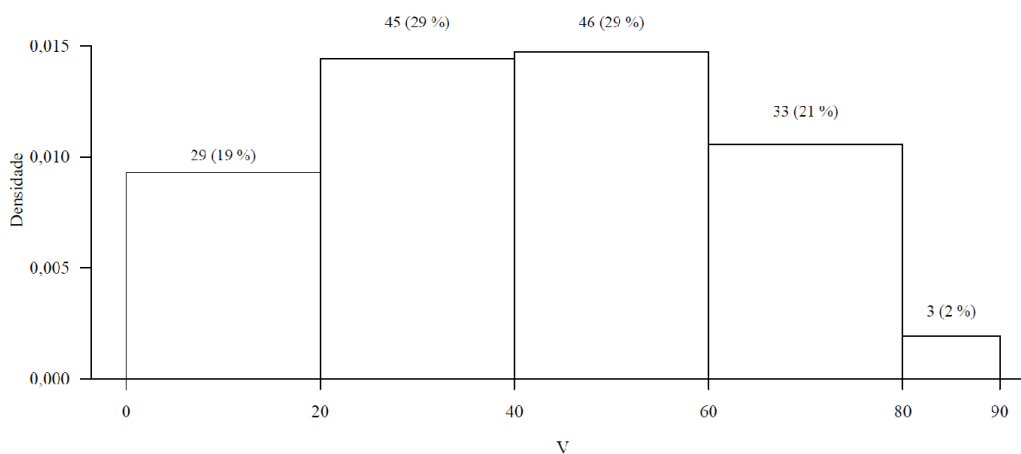


Figura 17 - Distribuição de Semivariograma das frequências da saturação por bases (mg dm^{-3}) no município de Monte Carmelo- MG

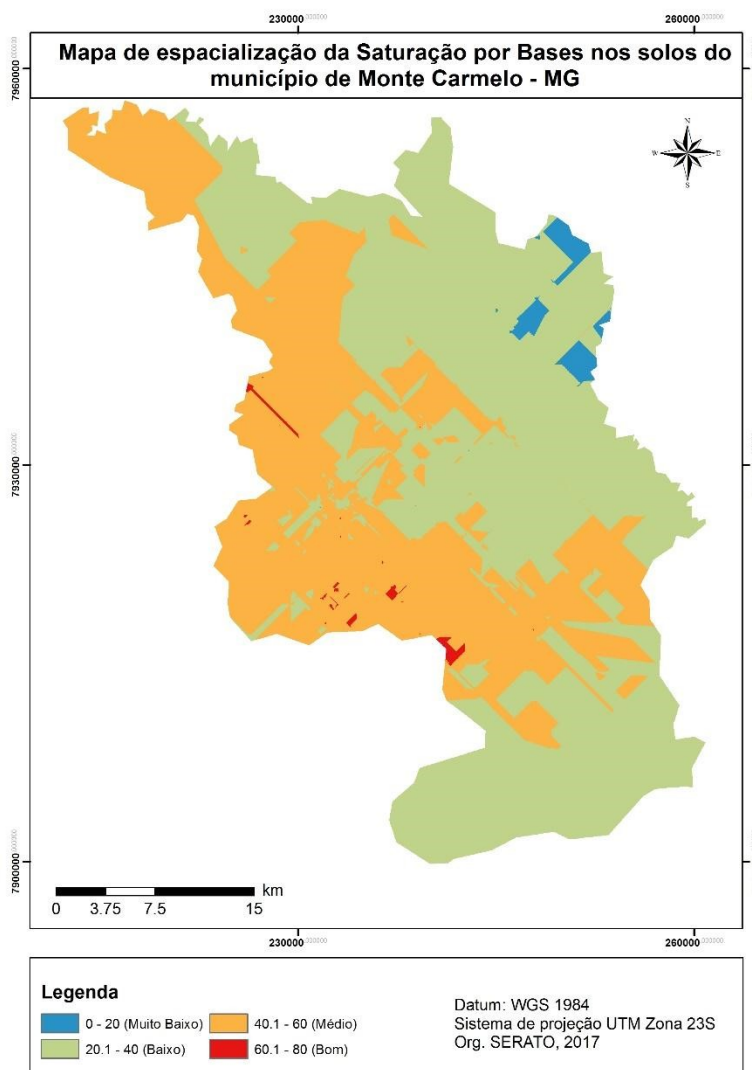


Figura 18 - Mapa de distribuição espacial da saturação por bases nos solos do município de Monte Carmelo – MG

6. Conclusões

Analisando os principais elementos dos solos do município de Monte Carmelo – MG, conclui-se que eles se equiparam à média de valores considerados adequados de acordo com a CFSEMG (1999)

Este trabalho, por ser pioneiro na região, servirá de subsídio para futuros trabalhos realizados na área de solos. O conhecimento prévio e geoespacial dos atributos do solo proporciona condições de planejamento mais eficientes. A partir deste conhecimento, será possível subdividir o município em áreas menores e mais homogêneas para executar trabalhos mais específicos, melhorando a qualidade dos dados e, conseqüentemente, o conhecimento sobre os solos da região.

7. Referências

- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª aproximação. Lavras, 1999. 359p
- COUTINHO, L.M. 2006. O conceito de bioma. *Acta Bot. Bras.* 20(1):1-11.
<https://doi.org/10.1590/S0102-33062006000100002>
- DADALTO, G.G.; FULLIN, E.A. Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo 4ª aproximação. Vitória, ES: SEEA/INCAPER, 2001. 266p.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison, SSSA, 1994. p.1-20. (Special, 35).
<https://doi.org/10.2136/sssaspecpub35.c1>
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro. 2. ed. rev. Atual. EMBRAPA, 1997. 212p
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) – Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br Acesso em: 27/06/2017.
- KLUTHCOUSKI, J. & STONE, L.F. Manejo sustentável dos solos dos Cerrados. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F. & AIDAR, H., eds. **Integração lavoura-pecuária**. Goiânia, Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p.61-104.
- LONGO, R.M.; ESPÍNDOLA, C.R.. Alterações em características químicas de solos da região Amazônica pela introdução de pastagens. *Acta Amazonica*, 30: 71-80. 2000.
<https://doi.org/10.1590/1809-43922000301080>
- LOPES, A.S. & GUILHERME, L.R.G. **Solos sob cerrado**: Manejo da fertilidade para a produção agropecuária. 2.ed. São Paulo, ANDA, 1994. 62p. (Boletim Técnico, 5)
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 1999
- ORLANDO, J. O., MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja doutor do seu canavial. **Informações Agrônômicas**, Campinas, v.67, p.1-16. 1994.
- PASSOS, G. O.. **Carbono orgânico e eletroquímica de latossolo submetido a sistemas de manejo no cerrado**. 2012. 46 f., il. Monografia (Bacharelado em Agronomia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012
- ROSENDO, Jussara dos Santos; ROSA, Roberto. Comparação do estoque de C estimado em pastagens e vegetação nativa de Cerrado / Comparison of the estimated C stock in pastures and native Cerrado vegetation. *Sociedade & Natureza*, v. 24, n. 2, p. 359–376, 2012. Disponível em:

<<http://www.seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/17241>>.
<https://doi.org/10.1590/S1982-45132012000200014>

SALTON, J.C. & HERNANI, L.C. Adoção. In: SALTON, J.C.; HERNANI, L.C. & FONTE, C.Z. **Sistema de plantio direto**. Brasília, Embrapa Agropecuária Oeste, 1998. p.21-35.

CAPÍTULO 3 – Índices de vegetação aplicados à predição da fertilidade dos solos.

1. RESUMO

SERATO, DOUGLAS SANTANA. **Índices de Vegetação aplicados à predição da fertilidade dos solos**. 2017. 60p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia – MG⁵

Dentre as várias áreas do conhecimento, podemos destacar a utilização do sensoriamento remoto e geoprocessamento como uma prática cada vez mais frequente em questões ambientais, urbanas e relacionadas à agricultura. A agricultura tem uma necessidade para tomada de decisões de correlacionar aspectos de solos, entre eles a classificação, fertilidade do solo e os diversos usos, com os aspectos das plantas, teores nutricionais adequados, crescimento, produtividade. A utilização de índices de vegetação como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área Foliar (IAF) facilita a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo, com destaque para a região do espectro eletromagnético do infravermelho, que pode fornecer importantes informações sobre a evapotranspiração das plantas. Pela importância que os atributos solo e vegetação tem para definir regionalmente desde políticas públicas até o uso local de insumos, realizou-se em Monte Carmelo- MG, o trabalho com a finalidade de predizer a fertilidade dos solos a partir de produtos do sensoriamento remoto.

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento Remoto, Fertilidade, Índices de vegetação

⁵ Comitê orientador: Adriane de Andrade Silva – Universidade Federal de Uberlândia e Claudionor Ribeiro da Silva – Universidade Federal de Uberlândia

2. ABSTRACT

SERATO, DOUGLAS SANTANA. **Vegetation Indices applied to the prediction of soil fertility**. 2017. 60p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia – MG⁶

Among the various areas of knowledge, we can highlight the use of remote sensing and geoprocessing as an increasingly frequent practice in environmental, urban, and agriculture related issues. Agriculture has a need to make decisions to correlate aspects of soils, including classification, soil fertility and various uses, aspects of plants, adequate nutritional content, growth, productivity. Utilization of vegetation indexes such as the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil - Adjusted Vegetation Index (SAVI) and Foliar Area Index (LAI) facilitates the obtaining and modeling of biophysical parameters of the plants, such as leaf area, Biomass and percentage of soil cover, with emphasis on the region of the infrared electromagnetic spectrum, which can provide important information on the evapotranspiration of plants. Due to the importance of soil and vegetation attributes to define regionally from public policies to the local use of inputs, Monte Carmelo-MG was carried out with the purpose of predicting soil fertility from remote sensing products.

KEYWORDS: Remote Sensing, Fertility, Vegetation Indices

⁶ Supervising Comunittee: Adriane de Andrade Silva – Universidade Federal de Uberlândia e Claudionor Ribeiro da Silva – Universidade Federal de Uberlândia

3. Introdução

Dentre as várias áreas do conhecimento, podemos destacar a utilização do sensoriamento remoto e geoprocessamento como uma prática cada vez mais frequente em questões ambientais, urbanas e relacionadas à agricultura. Na agricultura, diversas aplicações podem ser abordadas por meio do sensoriamento remoto, dentre elas, se destacam a estimativa da biomassa e produtividade da cultura; o monitoramento de estresse hídrico e do vigor nas plantas; e a avaliação do estágio fenológico (BRANDÃO, 2009).

A agricultura tem uma necessidade para tomada de decisões de correlacionar aspectos de solos, entre eles a classificação, fertilidade do solo e os diversos usos, com os aspectos das plantas, teores nutricionais adequados, crescimento, produtividade. As geotécnicas disponíveis atualmente, tem permitido com o uso do sensoriamento remoto trabalhar com o eixo solo/planta. Essa aptidão de unir e comparar o uso do sensoriamento remoto espectral com o método convencional, na obtenção de mapas de solos foi demonstrada por Demattê et al. (2004), que concluíram que é possível com essa técnica alcançar até o terceiro nível categórico na classificação do solo com uso de características espectrais. Em outro trabalho pioneiro, Mangabeiras et al. (2005) demonstra por meios de mapas confeccionados a partir do uso de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento que as menores produtividades das culturas se encontram em solos de menor fertilidade nutricional. Foi-se evoluindo na agricultura para uso do termo agricultura de precisão, que utiliza malhas de amostragem, algumas vezes muito curtas variando de 50 m X 50 m (1/4 hectare), ou ainda menores, e de malhas em escalas maiores 200 X 200 m (4 hectares), ou maiores, o que faz com que os custos de amostragem sejam muito elevados. Cherubim et al. (2014), levanta que para cada estudo deve-se observar se há dependência espacial dos atributos estudados, mas também se tem levantado a questão por ordem prática e econômica, não identificando uma única escala generalizada para realização de amostragens. Pensando em uma escala maior Ramirez-Lopez et al. (2009), realizaram um trabalho que permitiu concluir que através das técnicas de sensoriamento remoto é possível aumentar a densidade de amostragem diminuindo o número de amostras analisadas convencionalmente sem diminuir significativamente a qualidade dos mapas de variabilidade espacial.

A utilização de índices de vegetação como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Área

Foliar (IAF) facilita a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo, com destaque para a região do espectro eletromagnético do infravermelho, que pode fornecer importantes informações sobre a evapotranspiração das plantas (JENSEN, 2009; EPIPHANIO et al., 1996). Boratto e Gomide (2013) concluem que a utilização dos três índices relativos à vegetação (NDVI, SAVI e IAF) são ferramentas importantes para o manejo, caracterização e uso e ocupação do solo.

Pela importância que os atributos solo e vegetação tem para definir regionalmente desde políticas públicas até o uso local de insumos, realizou-se em Monte Carmelo- MG, o trabalho com a finalidade de prever a fertilidade dos solos a partir de produtos do sensoriamento remoto. Para tanto, foram escolhidos três índices de vegetação: NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*); SAVI (*Soil Adjusted Vegetation Index*); e IAF (Índice de área Foliar). Tais índices foram calculados a partir de dados provenientes do sensor Sentinel 2A e posteriormente foram cruzados com dados da fertilidade dos solos do município para obter a correlação entre os índices e a fertilidade.

4. Materiais e Métodos

O trabalho foi dividido em quatro etapas: Pré-campo; Coleta de dados em campo; Aquisição de produtos provenientes de sensores remotos; e processamento dos dados. Na etapa de pré-campo, definiu-se a área de estudo e a forma como os dados seriam coletados, assim como leituras de materiais relacionados ao tema para embasar o trabalho.

A etapa de coleta de dados em campo veio logo após a escolha da área de estudo, foram percorridos aproximadamente 200 km dentro do Município de Monte Carmelo, utilizando-se as principais vias (estradas rurais), identificadas através de imagens de satélites e que davam acessos às principais comunidades rurais da cidade, entre elas as conhecidas Coxim, Córrego dos cavalos, Matheus, Gonçalves, São Felix, Araras, Brejão e Brejãozinho, entre outras. Foram coletadas amostras ao longo de todo o município conforme ilustra a Figura 1, observa-se que em algumas regiões há um menor número de amostras pois o acesso à essa área era bloqueado ou de difícil transposição.

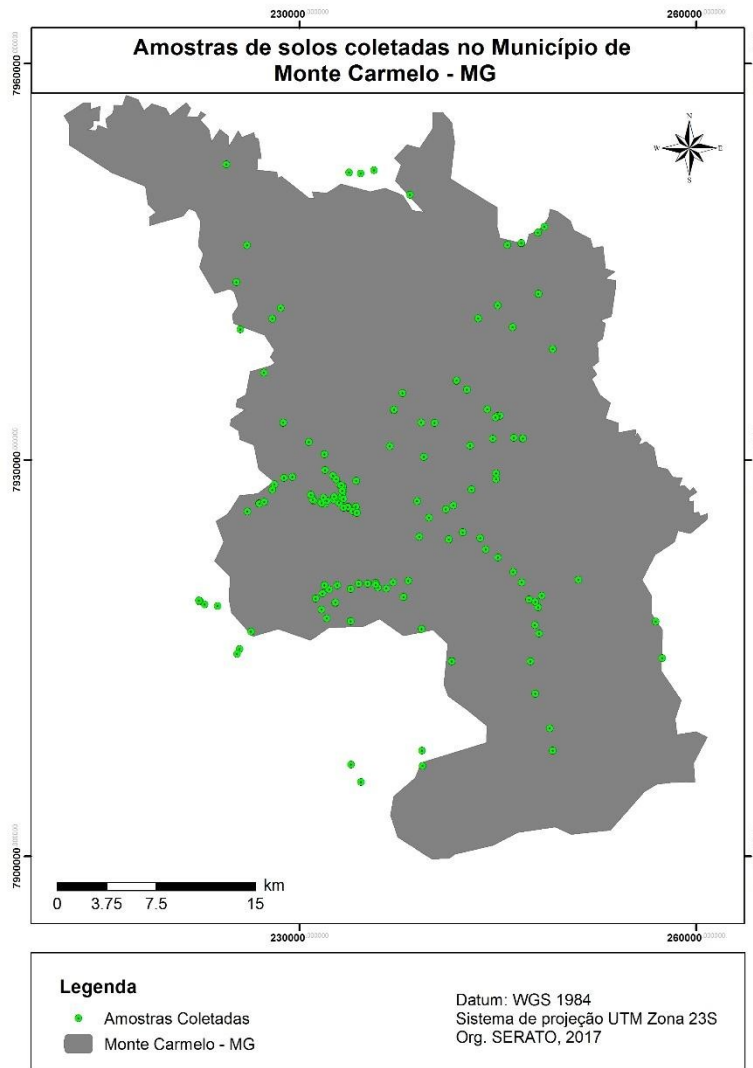


Figura 19 – Mapa de espacialização das amostras de solos coletadas no município de Monte Carmelo - MG

As amostras foram coletadas visando observar uma diversidade de culturas, e em algumas regiões, como na proximidade de Douradoquara, a vegetação era basicamente formada por áreas de pastagens degradadas, ou em algum estágio de degradação, não justificando um maior número de amostragens. Em áreas com predominância de mesmas culturas, café e cereais, também se utilizou a metodologia de coletar um número de pontos que se caracteriza a região. Os usos dessas áreas foram previamente observados pelas imagens de satélite, que também direcionou a busca, por cultivos, não identificados no satélite.

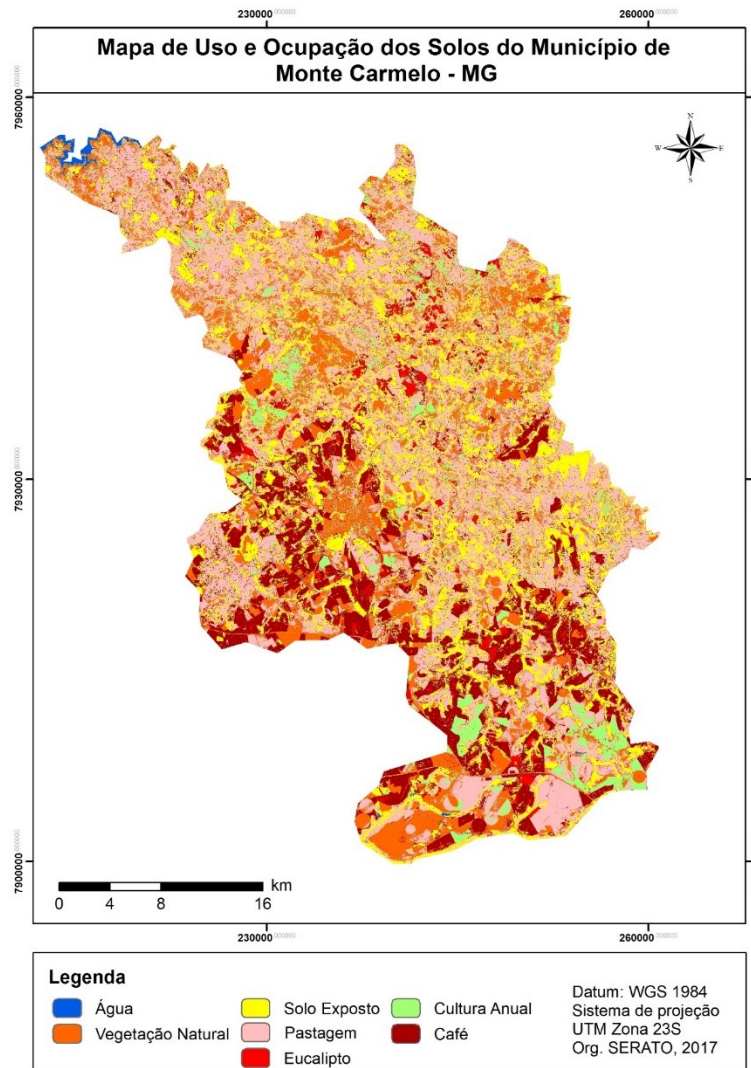


Figura 20 – Mapa de uso e ocupação do solo no município de Monte Carmelo - MG

Para a seleção das áreas amostradas foram considerados os seguintes critérios: classe de solo (análise visual de alteração de coloração e textura), uso e ocupação do solo. Coletou-se 156 pontos para realização de análises dos atributos químicos de solo, com distribuição aleatória sobre todo o território do município de Monte Carmelo sobre diferentes usos, entre eles, culturas anuais, pastagem, café, áreas de reflorestamento, cana-de-açúcar, abacate, mamão, mandioca, banana e áreas com vegetação de cerrado e mata nativa. Das amostras coletadas, 40 foram em áreas com cultivo de café em diferentes estágios (café novo - cultivos recém implantados, de mudas a até 1 ano, antes do início de produção; café em início de produção - 2 ano a 4 ano; café estabelecido, em pleno processo produtivo; café velho – estabelecido há mais de 10 anos, e/ou com necessidade de substituição, ou recepa e outras práticas), 36 amostras de pastagens (em diferentes

graus de degradação; cultivadas e bem estabelecidas; com variabilidade de espécies); 31 amostras de áreas com cereais (milho, feijão, sorgo e trigo), 23 amostras de matas nativas e cerrado, 18 em áreas com práticas de reflorestamento e ou cultivo de espécies florestais (com presença de eucalipto e mogno) e 8 com culturas diversas, que não representam muitas áreas de uso na região (tomate, abacate, mamão, banana e mandioca e cana-de-açúcar).

As coletas foram realizadas na profundidade de 0 a 20 cm, com trado do tipo Holandês, e com o auxílio de um Sistema de Posicionamento Global (GPS) foram georreferenciadas e obtidas as coordenadas geográficas, e anotado o uso observado da área. Em cada ponto amostral foram retiradas aleatoriamente amostras simples, em seguida essas amostras foram misturadas e homogeneizadas para formar uma amostra composta, com uso de baldes limpos e sem contaminação, cada amostra foi identificada e lacrada para encaminhamento ao Laboratório de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS).

As amostras foram encaminhadas para o LABAS onde foram determinados os seguintes atributos químicos: fósforo (P), potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), alumínio (Al^{3+}), acidez ativa (pH em água), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB), Carbono Orgânico Total (COT); capacidade de troca de cátions efetiva (t) e CTC total (T), ou seja, CTC obtida à pH 7,0, saturação por bases (V%) e saturação por alumínio (m), conforme metodologia proposta por Embrapa (2011).

A terceira etapa consistiu na aquisição de produtos provenientes de sensores remotos. A satélite escolhido foi o Sentinel 2A. A aquisição de seus produtos se deu pelo site da USGS (United States Geological Survey). Escolheu-se a imagem que recobria o município de Monte Carmelo – MG e posteriormente foi feito o download das bandas espectrais desse satélite. A imagem utilizada data do dia 28/08/2016, período de seca na região.

O processamento dos dados, provenientes dos sensores remotos e dos resultados das coletas dos solos, foi realizado utilizando o software ARCGIS 10.3, gerando um arquivo vetorial dos pontos de amostras de solos coletados em campo. Criou-se um banco de dados com as informações espaciais de cada ponto amostrado, assim como informações provenientes do laboratório de análise de solos (LABAS). Com esses dados tabulados, foi utilizado o método de interpolação do tipo Krigagem para espacializar os resultados das análises de solo. Foi utilizada a variável Saturação por Bases (V) como dado interpolado. O resultado da Krigagem foi reclassificado em 5 classes sendo os

valores classificados da seguinte maneira: ≤ 20 (Muito Baixo); 20,1 – 40 (Baixo); 40,1 – 60 (Médio); 60,1 – 80 (Bom) ≥ 80 (Muito Bom) (RIBEIRO, 1999).

Para os índices de vegetação (NDVI, SAVI e IAF) foram utilizadas as bandas 4 (Vermelho) e 8 (Infravermelho Próximo) do satélite Santinel 2A. Os índices NDVI (ROUSE JR et al., 1974), SAVI (Huete, 1988) e IAF (ALLEN et al., 2002), foram calculados utilizando-se as fórmulas propostas por seus respectivos autores.

As análises estatísticas foram feitas no software R (R CORE TEAM, 2016). Foram elaborados histogramas e gráficos de dispersão entre as variáveis para observar a correlação entre as variáveis.

5. Resultados e Discussão

Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação. Varia de -1 a 1 sendo que quanto mais próximo de 1, mais densa e vigorosa será a vegetação. De acordo com as classes observadas, pode-se destacar as áreas com índice variando de -0,46 a 0,23 - essas áreas podem ser descritas como áreas de muito baixa vegetação, indicando áreas de risco de processos de degradabilidade. Observa-se na imagem que a área urbanizada está nesse intervalo de índice. Outras regiões compreendidas nesse intervalo são áreas com solos exposto, seja por processos erosivos ou por áreas que estão no início do processo de plantio, nas quais os solos haviam sido remexidos. Já nas áreas com índices entre 0,5 – 0,65 e 0,66 e 0,92 observa-se uma menor participação no mapa e correspondem a áreas com melhores índices de fertilidade, correspondendo a culturas com melhor contribuição de vegetação densa.

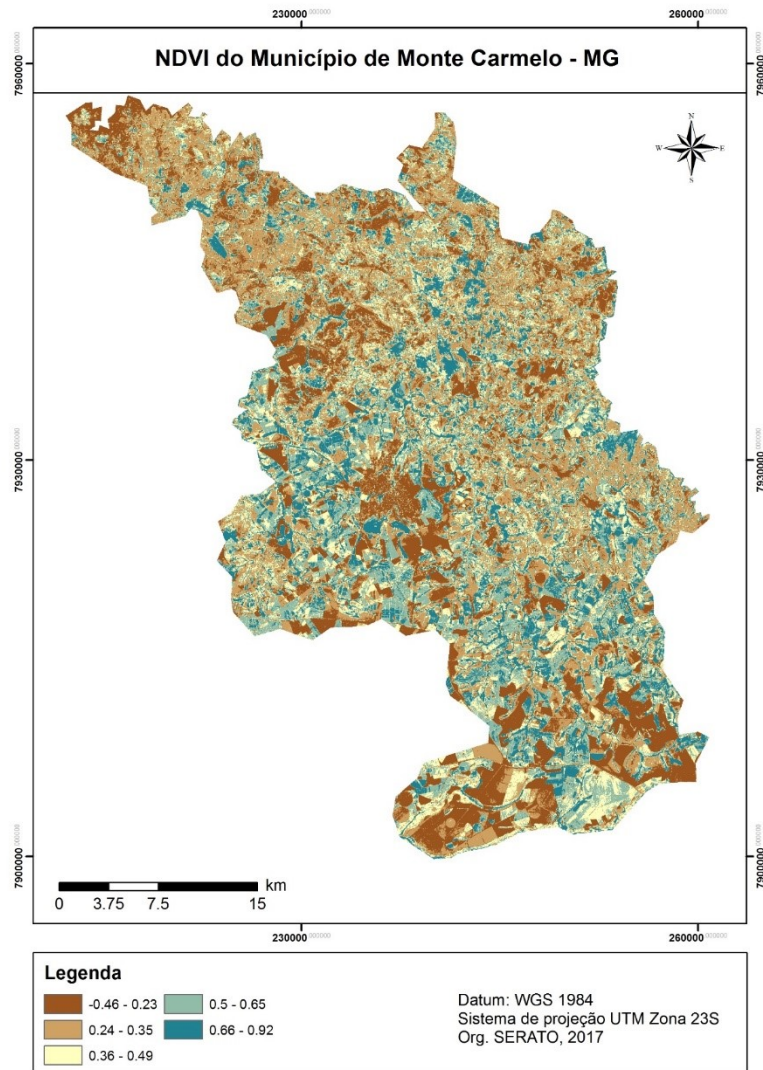


Figura 21 – NDVI do município de Monte Carmelo - MG

Santiago et al. 2009, concluíram que o NDVI identificou melhor as mudanças nos alvos de vegetação densa destacando, principalmente, áreas com cultivos bem estabelecidos e áreas de vegetação natural mais densa, como matas ciliares e cerradão. Como esse estudo trata-se de uma primeira abordagem da região de Monte Carmelo, pode-se, por meio da evolução da exploração da terra, acompanhar se a fertilidade do solo será um atributo de referência para a melhoria das culturas e usos regionais.

O SAVI foi estimado com intervalos entre -0,22 até 0,72. O SAVI está entre um grupo de índices de vegetação que medem ou aproximam a distância entre o pixel e a linha do solo, assim retirando o efeito dos solos claros ou escuros (Huete, 1988), amenizando os efeitos do background do solo. Na imagem observa-se que as áreas urbanizadas, com corpos hídricos e solos expostos, apresentaram um valor entre -0,22 e 0,21. As áreas com vegetação natural do tipo Cerrado *Stricto Senso* e algumas culturas com um espaçamento maior entre as plantas, apresentaram valores entre 0,22 e 0,38. Por fim as áreas com vegetação mais densa e plantas mais vigorosas apresentaram valores de índice superior à 0,38.

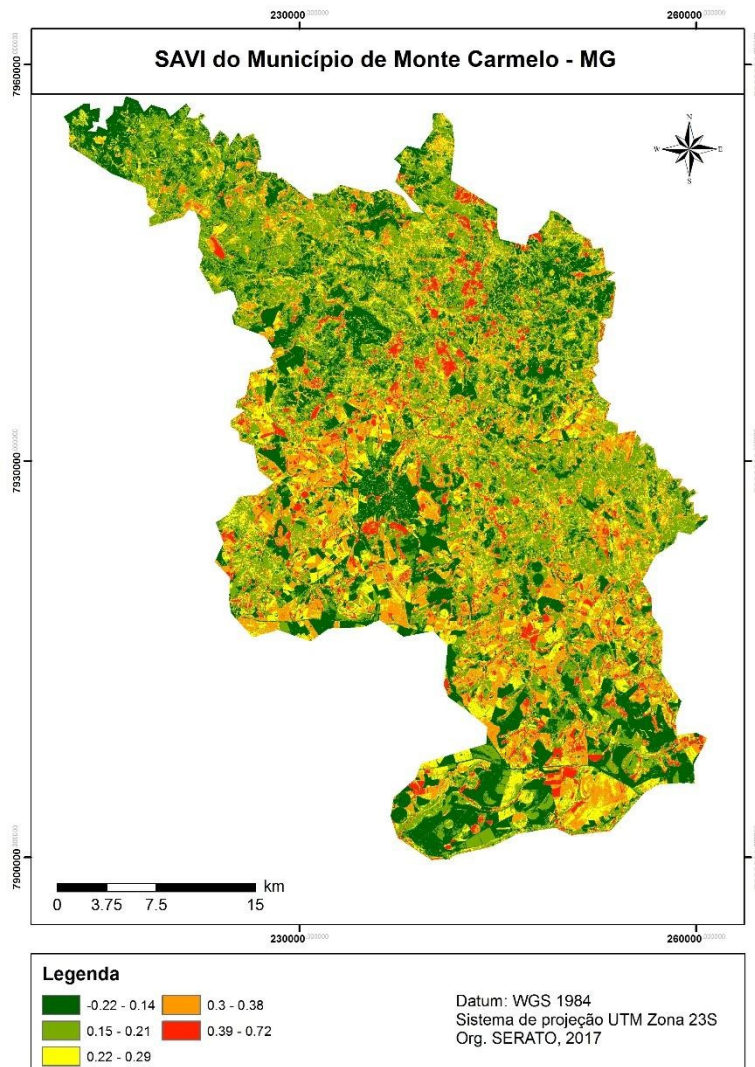


Figura 22 – SAVI do município de Monte Carmelo - MG

O IAF (Índice de área foliar) é um subproduto do NDVI e do SAVI, logo os resultados são semelhantes aos índices supracitados. Observa-se que os valores do IAF variaram de -1,7 a 0,059. Subdividiu-se essa variação em 5 classes, como ilustrado na figura 23. As áreas com menor índice biofísico, ou seja, menor valor da biomassa de cada pixel, apresentaram valores entre -1,7 e -0,89. É possível observar na imagem que a região urbana de Monte Carmelo, assim como os corpos d'água, estão representados dentro desse intervalo. Áreas de solos expostos também se enquadraram nesse intervalo. As áreas de pastagem ficaram representadas no intervalo de -0,9 a -0,89. Culturas anuais, café e eucaliptos apresentaram valores maiores que -0,88. Boratto e Gomide (2013) apresentam resultados semelhantes aos encontrados no município de Monte Carmelo. Em seu trabalho, os autores compararam imagens do período úmido com o período seco. Os três índices analisados apresentaram valores muito baixos para a imagem do período seco. A imagem utilizada para calcular os índices para o Município de Monte Carmelo data do início do mês de setembro, ou seja, período seco.

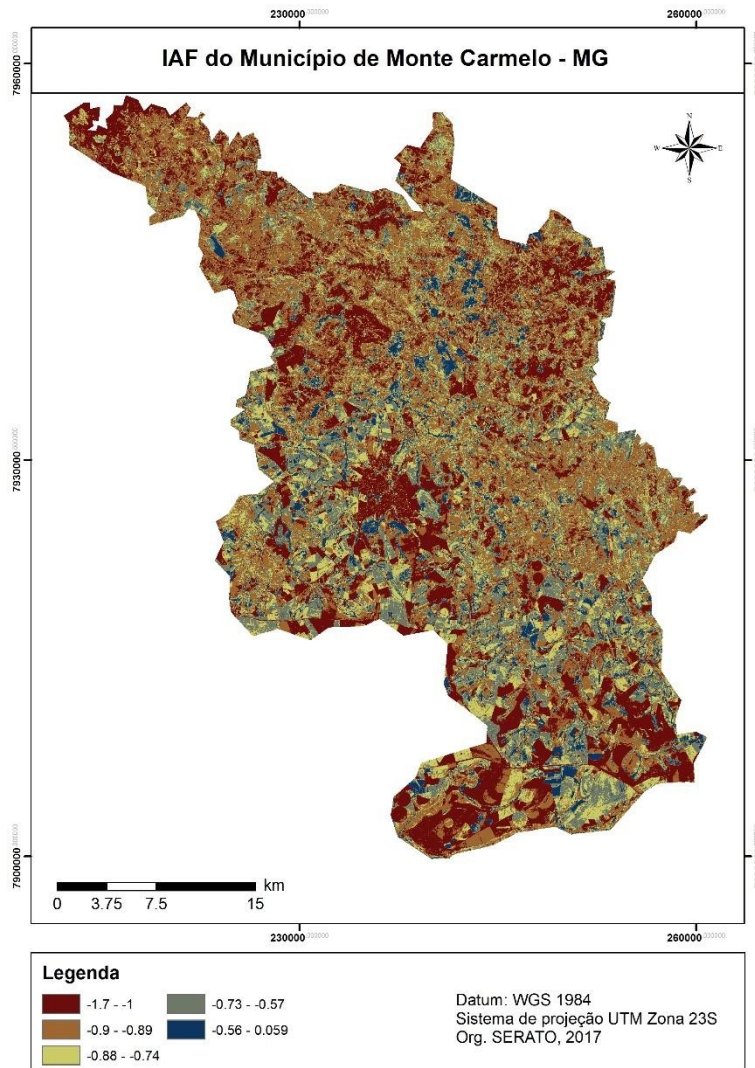


Figura 23 – IAF do município de Monte Carmelo – MG

O objetivo principal do trabalho era avaliar a correlação entre os índices de vegetação e a variável Fertilidade. Para analisar tais correlações foi gerado um gráfico de dispersão entre as variáveis para observar a correlação existente. A leitura do gráfico possibilita uma rápida e fácil interpretação dos resultados. Entre os índices de vegetação, houve grande correlação, principalmente entre o SAVI e o IAF. Quando se analisa a correlação entre os índices de vegetação e a variável Fertilidade, o resultado apresenta uma não correlação. As observáveis ficaram muito dispersas, sem nenhuma linearidade.

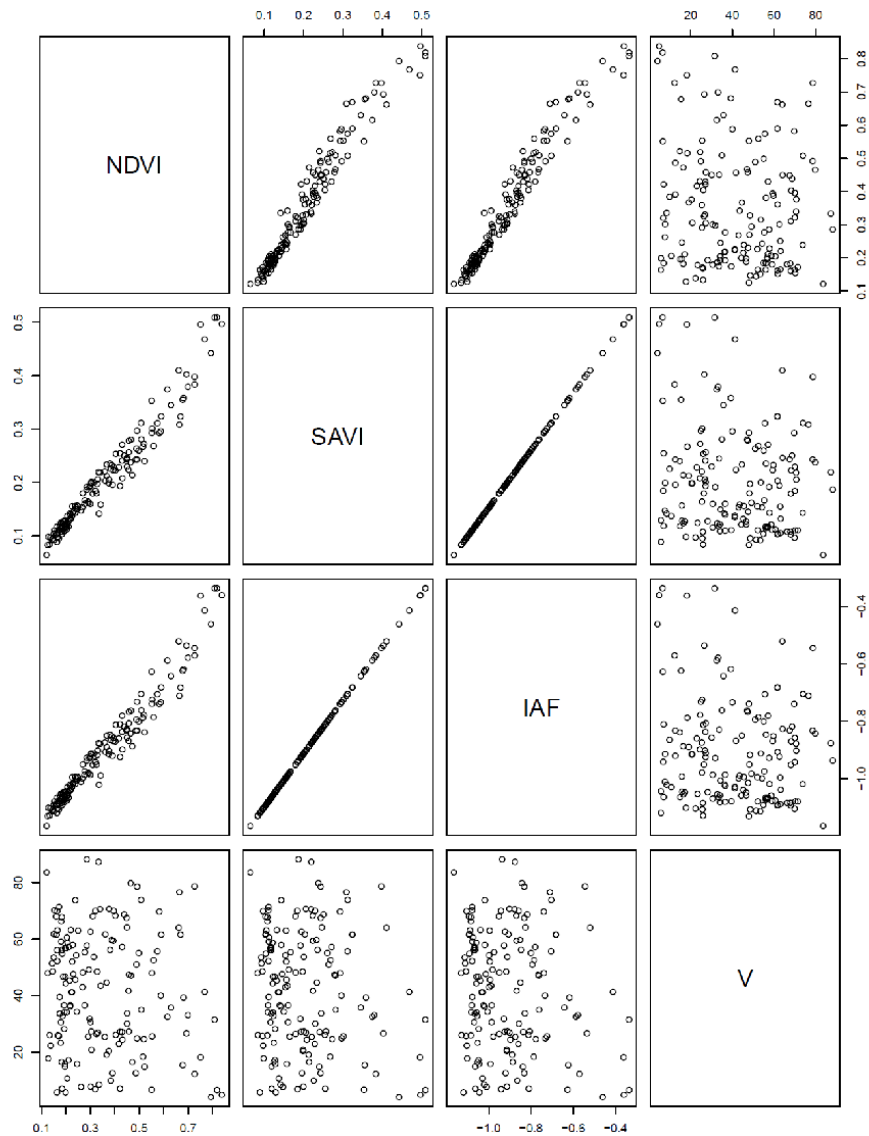


Figura 24 - Gráfico de dispersão entre NDVI, SAVI, IAF e V

6. Conclusões

As imagens dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF ratificaram sua aplicabilidade como ferramenta no monitoramento de cobertura vegetal. A hipótese do trabalho não foi respondida, pois os índices de vegetação não apresentaram correlação com a fertilidade dos solos. Acredita-se que a quantidade e distribuição das amostras de solos coletadas foi insuficiente para que houvesse uma correlação entre as variáveis. Novos trabalhos devem ser feitos buscando avaliar a metodologia utilizada com o intuito de validar a hipótese. Trabalhos em áreas com dimensões menores tornam-se mais viáveis, pois se torna possível densificar as amostras coletadas dando maior representatividade às áreas.

7. Referências

ALLEN, R.G., TASUMI, M., TREZZA, R., WATERS, R. e BASTIAANSEN, W.G.M. **Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – Advanced training and users Manual**. Idaho, p. 98, 08/2002.

BERNARDO, L. T. LUCIANO TIAGO BERNARDO AGRICULTURA E MEIO AMBIENTE : um estudo comparativo entre os sistemas de produção patronal e familiar em Monte Carmelo e Iraí de Minas (MG). 2001.

BIRTH, G. S.; MCVEY, G. Measuring the colour of growing turf with a reflectance spectrophotometer. **Agronomy Journal**, v. 60, n. 6, p. 640-643, 1968.
<https://doi.org/10.2134/agronj1968.00021962006000060016x>

BORATTO, I. M. P.; GOMIDE, R. L. . Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 2013, Foz do Iguaçu. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais, 2013. p. 7345-7352.

BRANDÃO, Z. N. **Estimativa da produtividade e estado nutricional da cultura do algodão irrigado via técnicas de sensoriamento remoto**. 2009. 152 f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais)-Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

BRITO, G. G.; SOFIATTI, V.; BRANDÃO, Z. N.; SILVA, V. B.; SILVA, F. M.; SILVA, D. A. Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in cotton plants. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 33, p. 671-678, 2011.
<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v33i4.10926>

COLWELL, R. N. **Manual of remote sensing**. [s.l.] American Society of Photogrammetry, 1983.

DAUGHTRY, C. S. T.; WALTHALL, C. L.; KIM, M. S.; COLSTOUN, E. B.; McMURTREY III, J. E. Estimating corn leaf chlorophyll concentration from leaf and canopy reflectance. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, n. 2, p. 229-239, 2000.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00113-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00113-9)

EPIPHANIO, J. C. N.; GLERIANI, J. M.; FORMAGGIO, A. R.; RUDORFF, B. F. T. Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996.

HABOUDANE, D.; MILLER, J. R.; PATTEY E.; ZARCOTEJADA, P. J.; STRACHAN, I. B. Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: modeling and validation in the context of precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, n. 3, p. 337-352, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.12.013>

JENSEN, J. R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres / tradução José Carlos Neves Epiphany et al. São José dos Campos. SP. 2009

MANGABEIRA, J. A. de C.; VALLADARES, G. S.; BATISTELLA, M.; GOMES, E. G. Relação espacial entre produtividade agrícola e fertilidade do solo com uso de imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: SBSR, 2005. p. 193-195.

RIBEIRO, A. C. ; GUIMARAES, P. T. G. ; ALVAREZ, V. H. . Recomendacoes para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximacao. 1. ed. Vicosa: CFSEMG-Imprensa Universitaria UFV, 1999. v. 1. 359p .

ROUSE JR, J. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. 1974.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing, models, and methods for image processing.** [s.l: s.n.]. v. 187