



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MODELAGEM EM CIÊNCIAS DA TERRA E DO AMBIENTE



JONATHAS JESUS DOS SANTOS

MODELAGEM DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E ESPECTRAIS DOS
SOLOS DE FEIRA DE SANTANA-BA

FEIRA DE SANTANA-BA

2019

JONATHAS JESUS DOS SANTOS

**MODELAGEM DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E ESPECTRAIS DOS
SOLOS DE FEIRA DE SANTANA-BA**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente - PPGM, da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS, como requisito básico para a conclusão de mestrado.

Orientação: Dr. Washington de Jesus Sant’anna da Franca Rocha

Co-orientação: Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista

FEIRA DE SANTANA-BA

2019

Ficha Catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado - UEFS

S235 Santos, Jonathas Jesus dos
Modelagem de atributos químicos e espectrais dos solos de Feira de Santana-BA / Jonathas Jesus dos Santos. – 2019.
121 f.: il.

Orientador: Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha.
Coorientador: Gustavo Macedo de Mello Baptista.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, 2019.

1. Solos – Feira de Santana, Bahia. 2. Modelagem geoestatística. 3. Composição química. 4. Espectrorradiometria. I. Rocha, Washington de Jesus Sant'Anna da Franca, orient. II. Baptista, Gustavo Macedo de Mello, coorient. III. Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.

CDU: 631.4(814.22)

Jonathas Jesus dos Santos

“MODELAGEM DE ATRIBUTOS QUÍMICOS E ESPECTRAIS DOS SOLOS DE FEIRA DE SANTANA-BA”

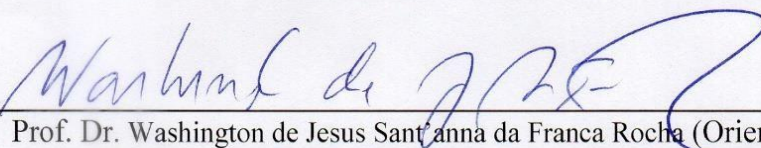
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente da Universidade Estadual de Feira de Santana.

Orientador: Prof. Dr. Washington de Jesus Sant'anna da Franca

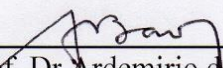
Linha de Pesquisa: Estudos Ambientais e Geotecnologias.

Data de aprovação: 29 de Março de 2019.

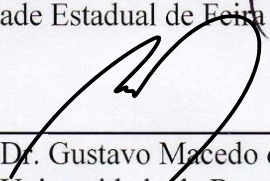
BANCA EXAMINADORA:



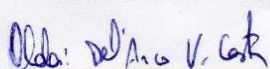
Prof. Dr. Washington de Jesus Sant'anna da Franca Rocha (Orientador)
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)



Prof. Dr. Ardemirio de Barros Silva
Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)



Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista
Universidade de Brasília - UnB



Prof. Dr. Oldair Del'Arco Vinhas Costa
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB

*Aos meus pais Jorge e Luzia
que me ajudaram sempre em tudo. Amo vocês*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma, ou de pequenas formas, direta ou indiretamente, presentemente o distantemente, contribuíram, colaboraram e aperfeiçoaram esse trabalho. Cada um de vocês fizeram parte dessa pesquisa e merecem os meus sinceros agradecimentos.

Agradeço a meus pais Jorge e Luzia que desde a minha infância lutam para que eu tenha acesso ao conhecimento, contribuíram sem dúvidas nessa pesquisa, além de sempre me incentivarem a continuar o trabalho até o fim.

Agradeço aos meus professores e orientadores, em especial Deorgia Thayane que teve uma contribuição essencial nessa pesquisa, sem ela esse trabalho não seria possível. Ao meu orientador professor Washington Rocha e ao meu co-orientador Gustavo Baptista, por toda dedicação, incentivo, força e coragem para enfrentar e me orientar nesta pesquisa.

A professora Joselisa Maria Chaves, por todo apoio, orientação e incentivo. Ao professor Ardemirio de Barros Silva por todo apoio, orientação e incentivo. A professora Jussara de Oliveira Ortiz, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, por toda colaboração na pesquisa.

Agradeço ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Espectrorradiometria (Labespectro) e toda sua equipe, por colaborarem nas análises espectrais. Ao Programa de Pós-Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente – PPGM, da Universidade Estadual de Feira de Santana-UEFS.

Agradecimento também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, ao Instituto Nacional em Ciência e Tecnologia em Estudos Interdisciplinares e Transdisciplinares em Ecologia e Evolução (INCT IN-TREE), e ao Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas) por todo apoio financeiro para realização da pesquisa.

EPÍGRAFE

*“A ciência progride de duas maneiras:
adicionando fatos novos e
simplificando os existentes...”*

(Claude Bernard)

RESUMO

Na atualidade é crescente a demanda do mercado consumidor sobre produtos agrícolas, essas condições aliadas a outros fatores como a erosão do solo, a perda de nutrientes, redução da matéria orgânica, salinização, compactação, entre outros, vem tornando as pesquisas sobre a variabilidade espacial dos elementos dos solos um tema de grande relevância. Em muitos estudos recentes, a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e de geoestatística para a avaliação de atributos do solo e do seu conteúdo de elementos maiores tem despertado a atenção, justamente porque essas técnicas podem gerar informações rápidas e precisas, ganhando credibilidade na comunidade científica. Nesse cenário, surge a seguinte questão: É possível avaliar tais atributos dos solos utilizando a espectrorradiometria com precisão e baixo custo? Nessa perspectiva, este trabalho tem por objetivo geral: Modelar atributos químicos e espectrais presentes nos solos de Feira de Santana-BA. Com os objetivos específicos, pretendeu-se modelar as características químicas naturais dos elementos maiores Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), e Sódio (Na) dos solos de Feira de Santana-BA, correlacionar os elementos químicos com a resposta espectral dos solos e identificar, por espectrorradiometria, atributos mineralógicos dos solos de Feira de Santana-BA. Para a modelagem de atributos químicos e espectrais presentes nos solos, realizou-se, inicialmente, coletas amostrais de solos na área de estudo. Em seguida foi realizada a análise química das amostras coletadas, determinando o teor dos elementos maiores P, K, Mg, Ca, e Na, bem como um estudo exploratório nos resultados das análises, como a estatística descritiva, remoção de outliers, distribuição de frequências, definição do interpolador e do tamanho do pixel. Ajustou-se os semivariogramas experimentais com os resultados químicos e logo em seguida foi realizada a Krigagem ordinária para cada elemento adotando-se os padrões da Embrapa. Posteriormente, foi realizada a avaliação espectrorradiométrica das amostras extraíndo os dados de reflectância, contínuo removido e profundidades de feição das bandas 500, 600, 950, 1400, 1900, 2205, 2300, 2380 e 2445 nanômetros, identificando também os minerais presentes com feições características. Em seguida avaliou-se pelo coeficiente de correlação de Pearson a correlação entre os dados extraídos das bandas e os elementos maiores dos solos de Feira de Santana-Ba. Observou-se que as distribuições dos elementos P, K, Mg, Ca, e Na ocorrem de forma diferenciada no espaço. Verificou-se que existe uma baixa correlação linear entre os espectros e a química de solos e que os principais minerais existentes nos solos de Feira de Santana são a Goethina, Caulinita, Muscovita, Montmorilonita e Ilita.

Palavras-Chave: Modelagem Geoestatística; Espectrorradiometria de solos; Correlação Linear

ABSTRACT

Currently the demand of the consumer market on agricultural products is increasing, these conditions allied to other factors such as soil erosion, nutrient loss, organic matter reduction, salinization, compaction, among others, has been making research on spatial variability of soil elements is a subject of great relevance. In many recent studies, the application of remote sensing and geostatistics techniques to the evaluation of soil attributes and their content of larger elements has attracted attention, precisely because these techniques can generate fast and accurate information, gaining credibility in the scientific community. In this scenario, the following question arises: Is it possible to evaluate such soil attributes using spectroradiometry with precision and low cost? In this perspective, this work has the general objective: To model chemical and spectral attributes present in the soils of Feira de Santana-BA. With the specific objectives, it was intended to model the natural chemical characteristics of the major elements of Phosphorus (P), Potassium (K), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), and Sodium to correlate the chemical elements with the spectral response of the soils and to identify, by spectroradiometry, mineralogical attributes of the soils of Feira de Santana-BA. For the modeling of chemical and spectral attributes present in the soils, soil samples were collected initially in the study area. The chemical analysis of the collected samples was carried out, determining the content of the major elements P, K, Mg, Ca, and Na, as well as an exploratory study in the results of the analyzes, such as descriptive statistics, removal of outliers, frequency distribution, interpolator definition and pixel size. The experimental semivariograms were adjusted with the chemical results and soon afterwards the ordinary Kriging for each element was adopted adopting Embrapa standards. Afterwards, the spectroradiometric evaluation of the samples was carried out by extracting the reflectance data, continuous removed and depths of the bands 500, 600, 950, 1400, 1900, 2205, 2300, 2380 and 2445 nanometers, also identifying the minerals present with characteristic features. The correlation between the data extracted from the bands and the major elements of the Feira de Santana-Ba soils was then evaluated by the Pearson correlation coefficient. It was observed that the distributions of the elements P, K, Mg, Ca, and Na occur in a differentiated form in the space. It was verified that there is a low linear correlation between the spectra and the soil chemistry and that the main minerals in the soils of Feira de Santana are Goethina, Caulinita, Muscovite, Montmorillonite and Illite.

Keywords: Geostatistical Modeling; Soil spectroradiometry; Linear Correlation

RESUMEN

En la actualidad es creciente la demanda del mercado consumidor sobre productos agrícolas, esas condiciones aliadas a otros factores como la erosión del suelo, la pérdida de nutrientes, reducción de la materia orgánica, salinización, compactación, entre otros, viene haciendo las investigaciones sobre la variabilidad espacial de los elementos de los suelos un tema de gran relevancia. En muchos estudios recientes, la aplicación de técnicas de percepción remota y de geoestadística para la evaluación de atributos del suelo y de su contenido de elementos mayores ha despertado la atención, justamente porque esas técnicas pueden generar informaciones rápidas y precisas, ganando credibilidad en la comunidad científica. En este escenario, surge la siguiente cuestión: ¿Es posible evaluar tales atributos de los suelos utilizando la espectroradiometría con precisión y bajo costo? En esta perspectiva, este trabajo tiene por objetivo general: Modelar atributos químicos y espectrales presentes en los suelos de Feira de Santana-BA. Con los objetivos específicos, se pretendió modelar las características químicas naturales de los elementos mayores Fósforo (P), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca), y Sodio (Na) de los suelos de Feira de Santana-BA, correlacionando los elementos químicos con la respuesta espectral de los suelos e identificar, por espectroradiometría, atributos mineralógicos de los suelos de Feira de Santana-BA. Para el modelado de atributos químicos y espectrales presentes en los suelos, se realizaron, inicialmente, colectas muestras de suelos en el área de estudio. Después se analizaron los análisis químicos, como la estadística descriptiva, la remoción de outliers, la distribución de frecuencias, la distribución de frecuencias, definición del interpolador y del tamaño del píxel. Se ajustaron los semivariogramas experimentales con los resultados químicos y luego se realizó la Krigagem ordinaria para cada elemento adoptando los patrones de la Embrapa. Se realizó la evaluación espectrorradiométrica de las muestras extrayendo los datos de reflectancia, continuo removido y profundidades de las bandas 500, 600, 950, 1400, 1900, 2205, 2300, 2380 y 2445 nanómetros, identificando también los minerales presentes con características características. En seguida se evaluó por el coeficiente de correlación de Pearson la correlación entre los datos extraídos de las bandas y los elementos mayores de los suelos de Feira de Santana-Ba. Se observó que las distribuciones de los elementos P, K, Mg, Ca, y Na ocurren de forma diferenciada en el espacio. Se verificó que existe una baja correlación lineal entre los espectros y la química de suelos y que los principales minerales existentes en los suelos de Feira de Santana son la Goethina, Caulinita, Muscovita, Montmorilonita e Illita.

Palabras Clave: Modelado Geoestadístico; Espectrorradiometría de suelos; Correlación Linea

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Localização de Feira de Santana-BA. Observa-se a mancha urbana ao centro do município.....	25
Figura 2. Mapa de solos do município de Feira de Santana-BA	28
Figura 3. Litologia do município de Feira de Santana-BA.....	30
Figura 4. Uso e ocupação da terra em Feira de Santana-BA	32
Figura 5. Mapa de Geomorfologia de Feira de Santana-BA	35
Figura 6. Mapa Hipsométrico de Feira de Santana-BA.....	36
Figura 7- Exemplo de avaliação espectral do solo ao longo do espectro eletromagnético. As setas nas absorções representam a identificação de uma característica espectral de um mineral, matéria orgânica ou elemento químico.....	43
Figura 8. Exemplo de um semivariograma experimental. Observa-se o Efeito Pepita representado por (C_0) que possui um valor até 0.5. Uma contribuição (C_1) com valores de 0.5 até aproximadamente 1.7. O semivariograma está representado por pontos correlacionados espacialmente (h) entre si até o Patamar (C), possuindo um Alcance (a) de aproximadamente 25 metros de boa correlação espacial.	46
Figura 9. Publicações em periódicos científicos no mundo sobre espectrorradiometria e solos de 1973 a 2017. Observa-se uma maior ascensão de publicações no início dos anos 2000. Fonte: SCOPUS, 2018.....	52
Figura 10. Países que mais publicaram artigos no mundo com o tema Espectrorradiometria de solos ao longo dos anos 2007 a 2017.	52
Figura 11 Densidade de periódicos científicos no mundo envolvendo o tema Espectrorradiometria e solos. As cores em maiores densidades representam os países que mais publicaram o tema. Em contrapartida, as cores com menores densidades os países que publicaram o tema, mas em menor quantidade.	53
Figura 12. Publicações em periódicos científicos no mundo sobre geoestatística de solos de 1971 a 2018. Observa-se uma maior ascensão de publicações no final do ano de 1995. Fonte: SCOPUS, 2018.	54
Figura 13. Países que mais publicaram em periódicos científicos no mundo envolvendo o tema Geoestatística de solos de 2007 a 2017. Os países estão representados em círculos de densidade no qual os maiores círculos possuem mais publicações. As cores de cada círculo estão correlacionadas com a paleta de cores multitemporal de 2007 a 2017.	55

Figura 14. Densidade de periódicos científicos no mundo envolvendo o tema Geoestatística de solos. As cores em maiores densidades representam os países que mais publicaram o tema. Em contrapartida, as cores com menores densidades os países que publicaram o tema, mas em menor quantidade.	56
Figura 15. Pontos amostrais dos solos de Feira de Santana-BA.	68
Figura 16. Semivariogramas experimentais dos elementos maiores dos solos de Feira de Santana-BA.....	75
Figura 17. Modelo de distribuição espacial da concentração de fósforo em mg.kg-1	76
Figura 18. Modelo 2,5D da distribuição espacial do fósforo em Feira de Santana-BA.....	77
Figura 19. Modelo de distribuição espacial do Potássio	78
Figura 20. Modelo 2,5D do potássio em Feira de Santana-Ba	78
Figura 21. Modelo de distribuição espacial do Cálcio	79
Figura 22. Modelo 2,5D do Cálcio em Feira de Santana-BA.....	80
Figura 23. Modelo de distribuição espacial do Magnésio	81
Figura 24. Modelo 2,5D do Magnésio em Feira de Santana-BA	81
Figura 25. Modelo de distribuição do Sódio	82
Figura 26. Modelo 2,5D do Sódio em Feira de Santana.....	83
Figura 27. Pontos do trabalho de campo nas classes de solos do município de Feira de Santana-BA, os números nos pontos estão correlacionados com as fotografias da figura 28..	91
Figura 28. Locais de coletas de amostras em Feira de Santana-BA. (1) Área agrícola com presença de uma topografia mais elevada ao fundo; (2) Área de topografia relativamente plana com vegetação típica da região; (3) Área rural da cidade com presença da vegetação típica da caatinga e interferências humanas; (4) Local próximo de rio, observa-se uma vegetação típica da caatinga e interferência antrópica com abertura de estrada; (5) Área rural da cidade, verifica-se uma topografia mais elevada ao fundo, interferências humanas com aberturas de estradas e cercamento de propriedades; (6) Local de predominância de uma vegetação rasteira e algumas árvores de porte arbóreo ao fundo.	92
Figura 29. (A) Equipamento Espectrorradiômetro; (B) Avaliação espectral e visualização das curvas espectrais.....	93
Figura 30. Fluxograma teórico-metodológico das atividades	96
Figura 31. Comportamento espectral dos solos da área de estudo de 350 a 2500 nanômetros. Observa-se no eixo x o comprimento de onda e no eixo y a reflectância. As curvas espectrais dos solos possuem absorções características ao longo do espectro.....	97

Figura 32. Comportamento espectral dos solos da área de estudo com remoção do contínuo espectral de 350 a 2500 nanômetros. Observa-se no eixo x o comprimento de onda e no eixo y a remoção de continuidade espectral.	98
Figura 33. Comportamento espectral dos solos de Feira de Santana com mineral Goethita de referência da USGS.	102
Figura 34. (A), (B). Comportamento espectral dos Chernossolos de Feira de Santana-BA com minerais de referência da USGS.	102
Figura 35. Comportamento espectral dos Neossolos de Feira de Santana-Ba com minerais de referência da USGS.	103
Figura 36. Comportamento espectral dos Latossolos de Feira de Santana-Ba com minerais de referência da USGS.	103
Figura 37. Comportamento espectral dos Argissolos Amarelos de Feira de Santana-Ba com minerais de referência da USGS.	104
Figura 38. Comportamento espectral dos Argissolos Vermelhos-Amarelos de Feira de Santana-Ba com minerais de referência da USGS.	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Cálculo dos resíduos entre os interpoladores.....	70
Tabela 2. Parâmetros dos modelos de semivariogramas experimentais.....	71
Tabela 3. Padrões das propriedades dos elementos maiores	72
Tabela 4. Estatística descritiva de elementos maiores dos solos do município de Feira de Santana-BA.....	74
Tabela 5. Coeficiente de correlação de Pearson para reflectância e elementos maiores dos solos de Feira de Santana. Na horizontal estão expressas as bandas espectrais e na vertical os elementos maiores.	99
Tabela 6. Coeficiente de correlação de Pearson para contínuo removido e elementos maiores dos solos de Feira de Santana. Na horizontal estão expressas as bandas espectrais e na vertical os elementos maiores.....	100
Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson para profundidade de feição e elementos maiores dos solos de Feira de Santana. Na horizontal estão expressas as bandas espectrais e na vertical os elementos maiores.....	100

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

FAO - Food and Agriculture Organization

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IQD – Inverso do Quadrado da Distância

IQR – Inter Quartile Range

KRIG – Krigagem

ONU – Organização das Nações Unidas

MIC – Mínima Curvatura

NASA – National Aeronautics and Space Administration

PLS – Partial Least Squares regression

PLSR – Projection on Latent Structures regression

SD – Standard Deviation

SIG – Sistema de Informações Geográficas

TSG - The Spectral Geologist

USGS - United States Geological Survey

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xiv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	19
1.1 APRESENTAÇÃO	19
1.2 OBJETIVO GERAL	20
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
1.4 QUESTÃO PROBLEMA	20
1.5 HIPÓTESE.....	20
1.6 JUSTIFICATIVA	21
1.7 REFERÊNCIAS	23
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	24
2.1.1 Solos	26
2.1.2 Litologia	29
2.1.3 Uso e ocupação da terra	31
2.1.4 Geomorfologia	33
2.1.4.1 Altitude.....	33
2.2 A VARIABILIDADE ESPACIAL DE ELEMENTOS QUÍMICOS NOS SOLOS	37
2.2.1 Influência do clima.....	37
2.2.2 Influência do relevo.....	37
2.2.3 Influência do material de origem	38
2.2.4 Influência dos Fatores Antrópicos.....	38
2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E ESPECTRORRADIOMETRIA DE SOLOS.....	40
2.3.1 Sensoriamento Remoto e radiação eletromagnética.....	40
2.3.2. Espectrorradiometria de Solos	40
2.4 A GEOESTATÍSTICA	44
2.4.1 Semivariograma	45
2.4.2 Krigagem.....	46
2.5 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA ESPECTRORRADIOMETRIA E GEOESTATÍSTICA DE SOLOS: DISCUSSÃO EM 10 ANOS	48
2.5.1 RESUMO.....	48
2.5.2 ABSTRACT	48

2.5.3 INTRODUÇÃO.....	48
2.5.4 MÉTODOS.....	49
2.5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
2.5.6 CONCLUSÃO.....	56
2.6 REFERÊNCIAS.....	57
CAPÍTULO 3.....	65
MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ELEMENTOS MAIORES DOS SOLOS DE FEIRA DE SANTANA-BA.....	65
3.1 RESUMO.....	65
3.2 ABSTRACT.....	65
3.3 INTRODUÇÃO.....	66
3.4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	67
3.4.1 Área de estudo.....	67
3.4.2 Coleta de amostras.....	68
3.4.3 Análise química de solos com verificação de outliers e estatística descritiva dos atributos.....	69
3.4.4 Cálculo do tamanho do pixel e definição do interpolador.....	69
3.4.5 Ajuste dos semivariogramas experimentais.....	71
3.4.6 Espacialização dos resultados por meio da Krigagem Ordinária e critérios para a classificação dos elementos maiores.....	71
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
3.6 CONCLUSÃO.....	83
3.7 REFERÊNCIAS.....	84
CAPÍTULO 4.....	88
COMPORTAMENTO ESPECTRAL E CORRELAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS DE FEIRA DE SANTANA-BA.....	88
4.1 RESUMO.....	88
4.2 ABSTRACT.....	88
4.3 INTRODUÇÃO.....	89
4.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	90
4.4.1 Área de estudo.....	90
4.4.2 Coleta de amostras.....	91
4.4.3 Preparação das amostras para as leituras espectrais.....	93
4.4.4 Avaliação espectral.....	93
4.4.5 Tratamento espectral.....	93

4.4.6 Identificação de minerais	94
4.4.7 Avaliação química das amostras	94
4.4.8 Correlação linear entre os dados espectrais e químicos de solo.....	95
4.4.9 Fluxograma de atividade	96
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
4.6 CONCLUSÃO	105
4.6 REFERÊNCIAS.....	105
APÊNDICE 1 – QUÍMICA DE SOLOS.....	110
APÊNDICE 2 – REFLECTÂNCIA	113
APÊNDICE 3 – CONTÍNUO REMOVIDO	116
APÊNDICE 4 – PROFUNDIDADE DE FEIÇÃO	119

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Na atualidade é crescente a necessidade de informações de dados sobre a variabilidade de atributos dos solos. Essa necessidade é motivada, sobretudo, pela demanda do mercado consumidor sobre produtos agrícolas e impactos humanos que contribuem para a degradação do solo. Nessa perspectiva, a avaliação da variabilidade de elementos tem sido utilizada para a caracterização de fenômenos e processos nos solos, colaborando com a compreensão da geodinâmica local (MENDES, 2007; ORTIZ, 2008).

Uma das técnicas utilizadas para esse estudo é a geoestatística, no qual a realização de análises sobre conjuntos de variáveis específicas, para determinados fenômenos e processos, permite que se obtenham informações sobre a variabilidade espacial desses atributos, como o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo. Essa técnica tornou-se estratégica do ponto de vista ambiental em que é possível repartir o espaço geográfico para a avaliação de fenômenos e processos nos solos (MANZIONE & ZIMBACK, 2011; CARNEIRO et al., 2016).

A geoestatística difere-se da estatística clássica no momento em que considera que os dados amostrados são dependentes espacialmente. Nesse sentido é possível avaliar a dependência espacial para as variáveis analisadas, gerando mapas que podem ser essenciais para a tomada de decisões (CARVALHO et al, 2013). Além disso, o conhecimento das distintas variáveis pode ser uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de projetos relacionados a métodos de interpolação e metodologias estatísticas para validar a correlação entre as características referentes aos solos (RONQUIM, 2010).

Atualmente técnicas de sensoriamento remoto também têm sido utilizadas para os estudos de solos, especialmente porque podem gerar informações rápidas e de baixo custo, ganhando credibilidade na comunidade científica (BELLINASO et al., 2010). Uma técnica específica dentro do campo do sensoriamento remoto para a identificação de atributos no solo é a espectrorradiometria, que consiste em um diagnóstico *in-situ* do solo de grande valia para a avaliação e o manejo dos solos (GENÚ & DEMATTÊ, 2012).

A espectrorradiometria pode colaborar com métodos de quantificação de atributos físicos e químicos com base na reflectância do solo (CEZAR et al., 2013). Pode ser muito útil na avaliação de variações pontuais do solo - em profundidade (de diferentes camadas e /ou horizontes) devido à

interação da luz com propriedades do solo refletindo dados intrínsecos relacionados com eles (DEMATTÊ, 2014).

1.2 OBJETIVO GERAL

- Modelar atributos químicos e espectrais presentes nos solos de Feira de Santana-BA.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modelar as características químicas naturais dos elementos maiores Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e Sódio (Na) dos solos de Feira de Santana-BA.
- Correlacionar os elementos químicos com a resposta espectral dos solos.
- Identificar por espectrorradiometria atributos mineralógicos dos solos de Feira de Santana-BA.

1.4 QUESTÃO PROBLEMA

É perceptível a crescente demanda de dados sobre atributos químicos dos solos. Nesse cenário, surge a seguinte questão: É possível avaliar tais atributos dos solos utilizando a espectrorradiometria com precisão e baixo custo?

1.5 HIPÓTESE

A espectrorradiometria permite avaliar atributos químicos dos solos devido à resposta espectral dos seus componentes ao espectro eletromagnético, causada por transições atômicas e moleculares, garantindo precisão e baixo custo nas análises, em comparação aos métodos tradicionais usados na caracterização dos materiais minerais.

1.6 JUSTIFICATIVA

O crescimento da população em nível global tem colaborado para o aumento da demanda de alimentos ao longo dos anos, espera-se que a população mundial de hoje que é de 7,6 bilhões chegue a 8,6 bilhões em 2030 (ONU, 2018). Nesse sentido, a FAO (2018) relata que nos dias de hoje se produzem mais alimentos do que o suficiente para todos, entretanto cerca de 821 milhões ainda sofrem com a fome crônica e uma em cada três pessoas estão afetadas com a desnutrição. Logo, um dos objetivos da Organização das Nações Unidas (ONU) para o desenvolvimento sustentável é erradicar a fome no mundo até o ano de 2030.

As necessidades crescentes da produção de alimentos, aliado a outros fatores como impacto das mudanças climáticas sobre a agricultura, as expectativas crescentes do nível de vida da população, a má gestão dos recursos industriais e de mineração, o uso abusivo de agrotóxicos, que pode alterar o nível natural de elementos químicos em solos, a escassez dos recursos naturais, a degradação do solo com a erosão intensa, perda de nutrientes, redução da matéria orgânica, salinização, compactação, agrava ainda mais a situação e torna as pesquisas sobre o solo uma questão de absoluta relevância (BECH et al, 2014; MARTINS & FERNANDES, 2017; FAO, 2018).

Nesse cenário, cada vez mais a ciência do solo necessita de técnicas analíticas e de baixo custo para a avaliação de atributos. Logo, na atualidade, se tem utilizado técnicas de sensoriamento remoto para auxiliar na avaliação de atributos e no manejo do solo, a exemplo da espectrorradiometria. Essas técnicas podem ser uma alternativa ao sistema de avaliação convencional, podendo gerar informações rápidas e baratas sobre os atributos dos solos. Assim, pesquisas que visem compreender, caracterizar e aprimorar essas técnicas são de fundamental importância para a criação e o avanço de protocolos de análise e a utilização em larga escala das técnicas alternativas (BELLINASSO et al., 2010; POPPIEL et al., 2018).

Nessa perspectiva, o conhecimento sobre a variabilidade dos atributos e elementos dos solos tornou-se uma questão estratégica, tanto do ponto de vista agrícola quanto do ponto de vista ambiental, sendo cada vez mais utilizada nos dias de hoje por meio da geoestatística (ORTIZ, 2008; SILVA & LIMA, 2009; MANZIONE & ZIMBACK, 2011; ZONTA et al., 2014; MARTINS & FERNANDES, 2017).

Logo, o presente trabalho combina a utilização de técnicas de espectrorradiometria e de geoestatística para avaliação de atributos e de elementos dos solos com espacialização em

repartições do espaço geográfico, em um pixel com dimensões adequadas, avaliando também a correlação linear entre as variáveis das duas técnicas utilizadas.

A opção pela aplicação de cálculos para determinação de dimensão ótima para os pixels visou economizar custos em recursos e tempo para avaliação de um grande número de amostras, tornando uma alternativa essencial para o trabalho em grandes repartições do espaço geográfico. Já a correlação linear entre as variáveis química e dos espectros pode indicar se a espectrorradiometria pode ser utilizada para avaliação de elementos maiores nos solos.

Nesse sentido, esta pesquisa pode contribuir com informações a respeito de um novo método de investigação de solos, que é mais rápido e barato em comparação com métodos tradicionais de pesquisa. Também pode colaborar com a construção do conhecimento sobre a distribuição das características químicas naturais dos elementos maiores dos solos de Feira de Santana-Ba, tratando-se de uma região com carência de estudos.

1.7 - REFERÊNCIAS

- BECH, J.; ABREU, M.M.; BINI, C.; PÉREZ-SIRVENT, C. Potentially harmful elements in soils. **Journal of Geochemical Exploration** 144:217–219, 2014.
- BELLINASSO, H.; DEMATTÊ, J.A.M.; ROMEIRO, S.A. Soil Spectral Library and its use in Soil Classification. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:861-870, 2010.
- CARNEIRO, J.S.S.; FARIA, A.J.G.; FIDELIS, R.R.; NETO, S.P.S.; SANTOS, A.C.; SILVA, R.R. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no cerrado. Curitiba: **Revista Scientia Agraria**, vol. 17, nº 3, 38-49, 2016.
- CARVALHO, L.C.C.; SILVA, F.M.; FERRAZ, G.A.S.; SILVA, F.C.; STRACIERI, J. Variabilidade Espacial de Atributos Físicos do Solo e Características Agronômicas da Cultura do Café. Lavras: **Coffee Science**, v. 8, n. 3, p. 265-275, 2013.
- FAO. **Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible**. Disponível em: << <http://www.fao.org/sustainable-development-goals/goals/goal-2/es/>>> Acesso em 20/12/18.
- LIRA, S.A.; NETO, A.C. Coeficientes de correlação para variáveis ordinárias e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. **RECIE: Uberlândia**, v. 15, n. 1/2, p. 45-53, jan.-dez. 2006.
- MARTINS, J.C.; FERNANDES, R. Processos de degradação do solo - medidas de prevenção. **Dossier Técnico Vida Rural**, maio, 2017.
- MANZIONE, R.L.; ZIMBACK, C.R.L.; Análise espacial multivariada aplicada a avaliação da fertilidade do solo. Viçosa-MG: **Eng. na Agricul. REVENG**, vol. 19, nº3, 227-235, 2011.
- MENDES, A.M.S. **Aula ministrada no curso de Manejo e Conservação do solo e da Água promovido pela superintendência Federal da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Bahia – SFA-BA**. Barreiras-BA: UFBA, 2007.
- ONU. **Apesar de baixa fertilidade, mundo terá 9,8 bilhões de pessoas em 2050**. Disponível em:<<<https://nacoesunidas.org/apesar-de-baixa-fertilidade-mundo-tera-98-bilhoes-de-pessoas-em-2050/>>> Acesso em 20/12/18.
- ORTIZ, J.O.; **Análise de Risco na fase de Planejamento em Sistemas de Produção Agrícola por meio da Simulação Geoestatística Condicionada**. São José dos Campos-SP: INPE, Tese de doutorado, 2008.
- RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa, 2010.
- SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S. Lógica Fuzzy no mapeamento de variáveis indicadoras de fertilidade do solo. Chile: **IDESIA**, vol. 27, nº 3, 41-46, 2009.
- ZONTA, J.H.; BRANDÃO, Z.N.; MEDEIROS, J.C.; SANA, R.S.; SOFIATTI, V. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no cerrado do Brasil. Campina Grande: **Rev. Bras. Eng. Agrícola**. vol.18, no.6, 509-602, 2014.

CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é o município de Feira de Santana, localizado no estado da Bahia, nordeste do Brasil (Figura 1). Considerada uma cidade comercial com economia baseada no setor de serviços e o segundo maior município do estado da Bahia em número de habitantes, Feira de Santana está situada no Agreste, entre a Zona da Mata e o Sertão baiano, possuindo fauna e flora dos dois ambientes (SEI, 2011, SANTO et al., 2013).

Está localizada em uma área denominada “Polígono das Secas”, com clima variando de seco a subúmido e prolongados períodos de estiagem (CPRM, 2005). Encontra-se assentada sobre o Pediplano Sertanejo, entre as unidades geomorfológica Tabuleiros Interioranos e o Pediplano Sertanejo, dentro do domínio morfoestrutural dos Planaltos Inumados (RADAMBRASIL, 1981).

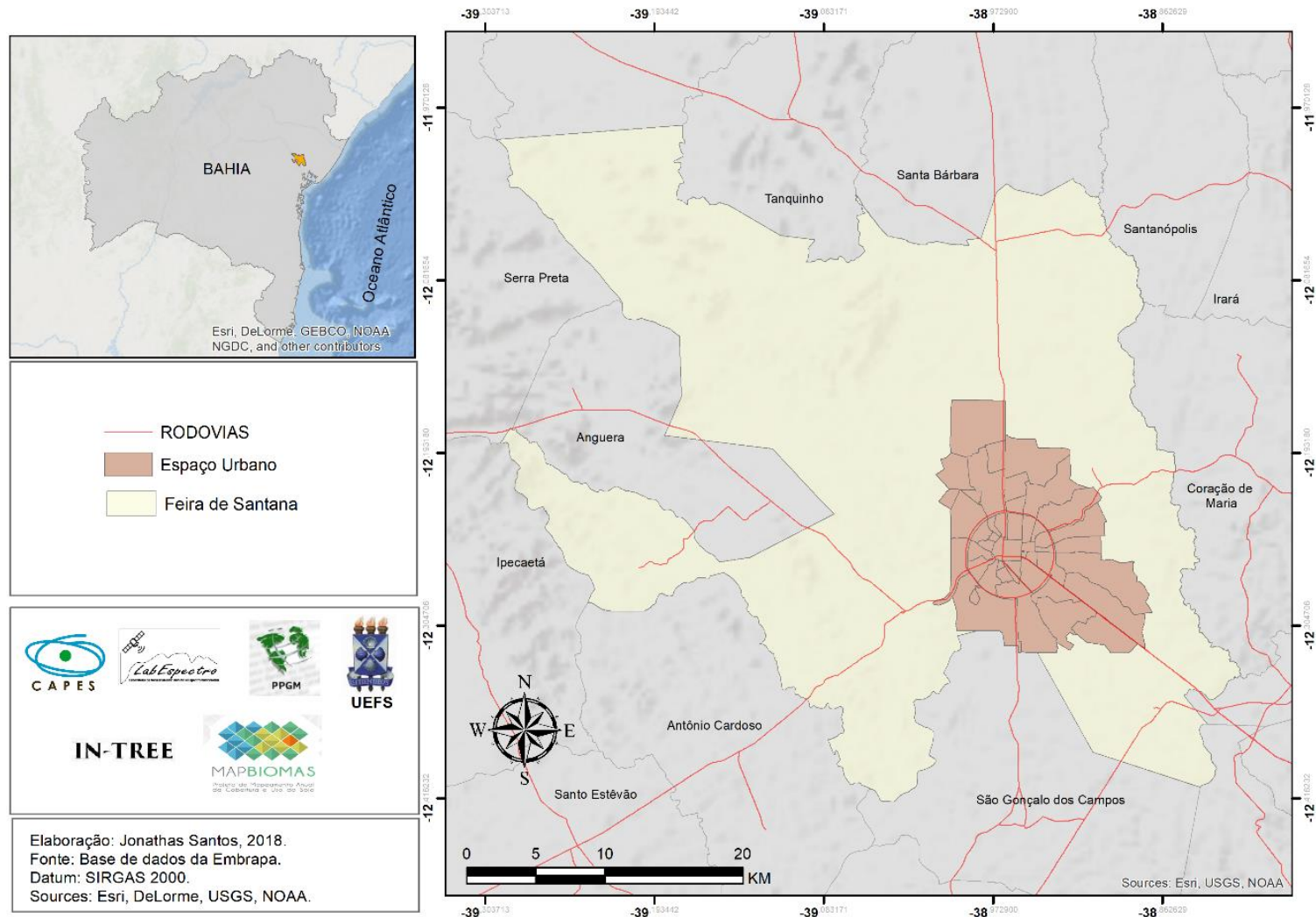


Figura 1 Localização de Feira de Santana-BA. Observa-se a mancha urbana ao centro do município.

2.1.1 Solos

Os solos são considerados um dos sistemas mais importantes, pois é neles que ocorrem as diferentes formas de apropriações e por consequência distintas degradações (EMBRAPA, 2017). Os solos do município de Feira de Santana apresentam uma grande variedade de classes por estar localizado em uma zona de transição climática e apresentar variações significativas nos componentes geológicos e geomorfológicos (Figura 2). Predominam na região seis classes de solos, sendo que o Planossolo Háptico ocorre em maior porção do município (Figura 2).

Além dos Planossolos Hápticos, existe uma grande ocorrência no município da classe dos Neossolos Litólicos. Os Planossolos (SXE) compreendem solos minerais imperfeitamente ou mal drenados, com horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve, que contrasta abruptamente com o horizonte B ou com transição abrupta conjugada com acentuada diferença de textura do A para o horizonte B imediatamente subjacente, adensado, geralmente de acentuada concentração de argila (EMBRAPA, 2013).

Os Neossolos Litólicos (RLe) são solos com horizonte A ou hístico, assentes diretamente sobre a rocha ou sobre um horizonte C ou Cr ou sobre material com 90% (por volume) ou mais de sua massa constituída por fragmentos de rocha com diâmetro maior que 2mm (cascalhos, calhaus e matacões), que apresentam um contato lítico típico ou fragmentário dentro de 50cm da superfície do solo (EMBRAPA, 2013).

Os Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelos (PVAe), predominam na porção leste do município e têm como característica marcante um aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B que é do tipo textural (Bt), geralmente acompanhado de boa diferenciação também de cores que variam do amarelo ao vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita. A profundidade dos solos é variável, mas em geral são pouco profundos e profundos (EMBRAPA, 2017).

Na porção sul do município encontra-se a classe de Chernossolos Argilúvico (MTo) que são solos de pequena e mediana espessuras, originários de rochas ricas em cálcio e magnésio e presença de minerais esmectíticos, que conferem alta atividade da argila e eventual acumulação de carbonato de cálcio, com enriquecimento em matéria orgânica no horizonte A chernozêmico, sobre horizontes subsuperficiais avermelhados ou escurecidos com argila de alta atividade. (EMBRAPA, 2017).

Ao norte do município observa-se classes de Latossolos Amarelos (LAd) que são solos bastante uniformes em termos de cor, textura e estrutura; são profundos e muito profundos, bem drenados, com predominância de textura argilosa e muito argilosa e horizontes transicionais que apresentam coesão (EMBRAPA, 2018).

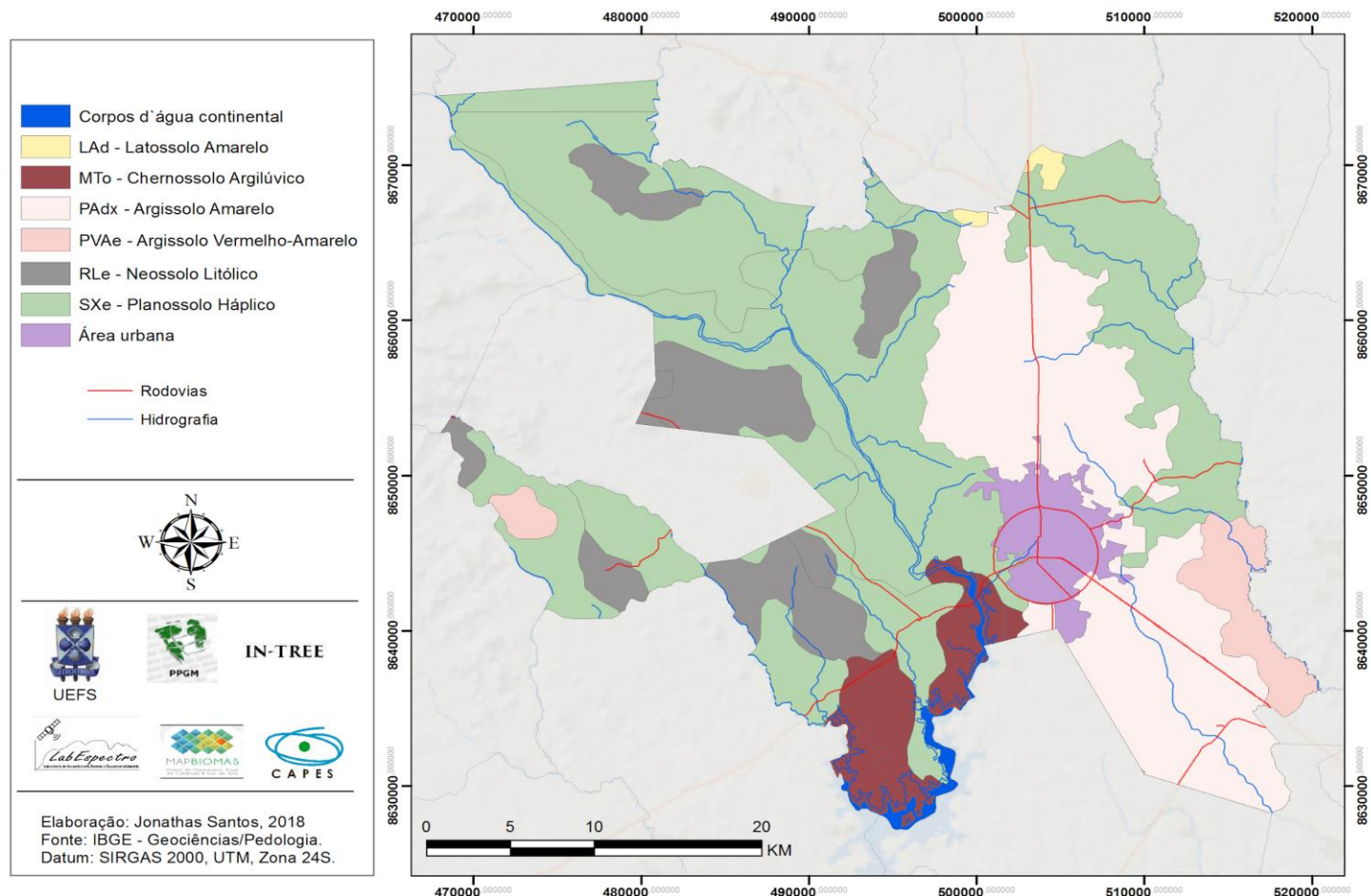


Figura 2. Mapa de solos do município de Feira de Santana-BA

2.1.2 Litologia

A associação de litotipos na região de Feira de Santana mostra-se mais diversificada na porção leste, em comparação com a porção oeste (Figura 3). Neste setor, predominam rochas cristalinas dos complexos Caraíba (Gnaiss Granulítico) que são constituídas por ortognaisses de cor cinza esverdeado, quando frescos e pardos nas superfícies de alteração, e, em menor proporção, o de Santa Luz (Gnaiss, Anfibolito, Ortognaiss), cortadas por rochas granitóides sin a tardi-tectônicas (Monzogranito, Quartzo, Sienogranito) e sienitóides tarditectônicas (Sienito). Verifica-se que a leste predomina uma cobertura sedimentar formada de depósitos sedimentares inconsolidados arenosos a argilosos fazendo parte do grupo Barreiras que é constituído por arenito argiloso a conglomerático, argilito puro a arenoso e conglomerado (CPRM, 2005).

O Gnaiss é uma rocha metamórfica, essencialmente quartzo-feldspática, granulação frequentemente média a grossa, a estrutura é muito variável desde maciça, granitóide, com foliação dada pelo achatamento dos grãos até bandada, já o ortognaiss é um tipo de rocha metamórfica do gnaiss derivado de granito, granodiorito entre outros (CPRM, 2018; CPRM, 2019). O Anfibolito seria um tipo de rocha formada por feldspato e anfibólio em grau metamórfico médio. O Migmatito é uma rocha mesclada de duas ou mais porções petrograficamente distintas constituindo por rocha original em um estágio metamórfico de alto grau e com vênulas ou intrusões de material comumente pegmatítico aplítico. Já o Sienito seria uma rocha ígnea intrusiva formada por feldspato alcalino e minerais ferro-magnesianos (MEHNERT, 1968; IBGE, 1998c).

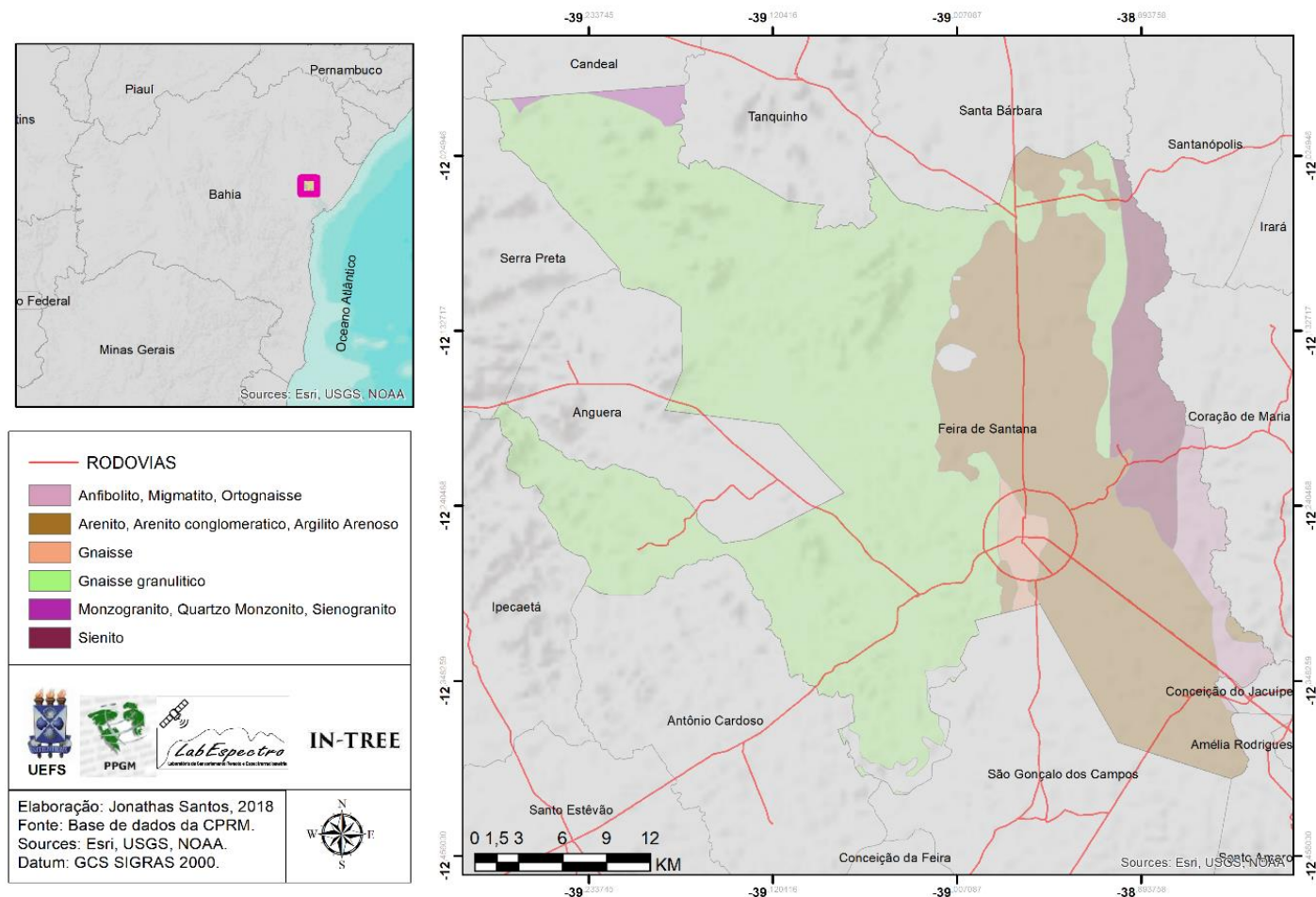


Figura 3. Litologia do município de Feira de Santana-BA

2.1.3 Uso e ocupação da terra

As características do uso e ocupação das terras de Feira de Santana é bem diversificado dentro do seu limite territorial (Figura 4). Predomina em grande parte da área territorial a agricultura e a pecuária. Na porção central está localizado o núcleo da cidade, a área urbana, sendo essa a porção de maior densidade populacional.

Verifica-se a presença de lagos, açudes ou represas, principalmente na porção leste do município. Na porção oeste, observa-se a presença da vegetação caatinga, da floresta estacional e secundária. A vegetação natural do município é a caatinga arbórea e arbustiva, que se encontra bastante fragmentada nas partes mais baixas do relevo e bem preservada nas áreas de serras. Considerado um sistema complexo, a caatinga pode apresentar em alguns trechos uma mata rala ou mais arbustiva e, em outros, fragmentos isolados com uma aparência pobre e árida, principalmente, na estação seca (DIAS et al., 2013).

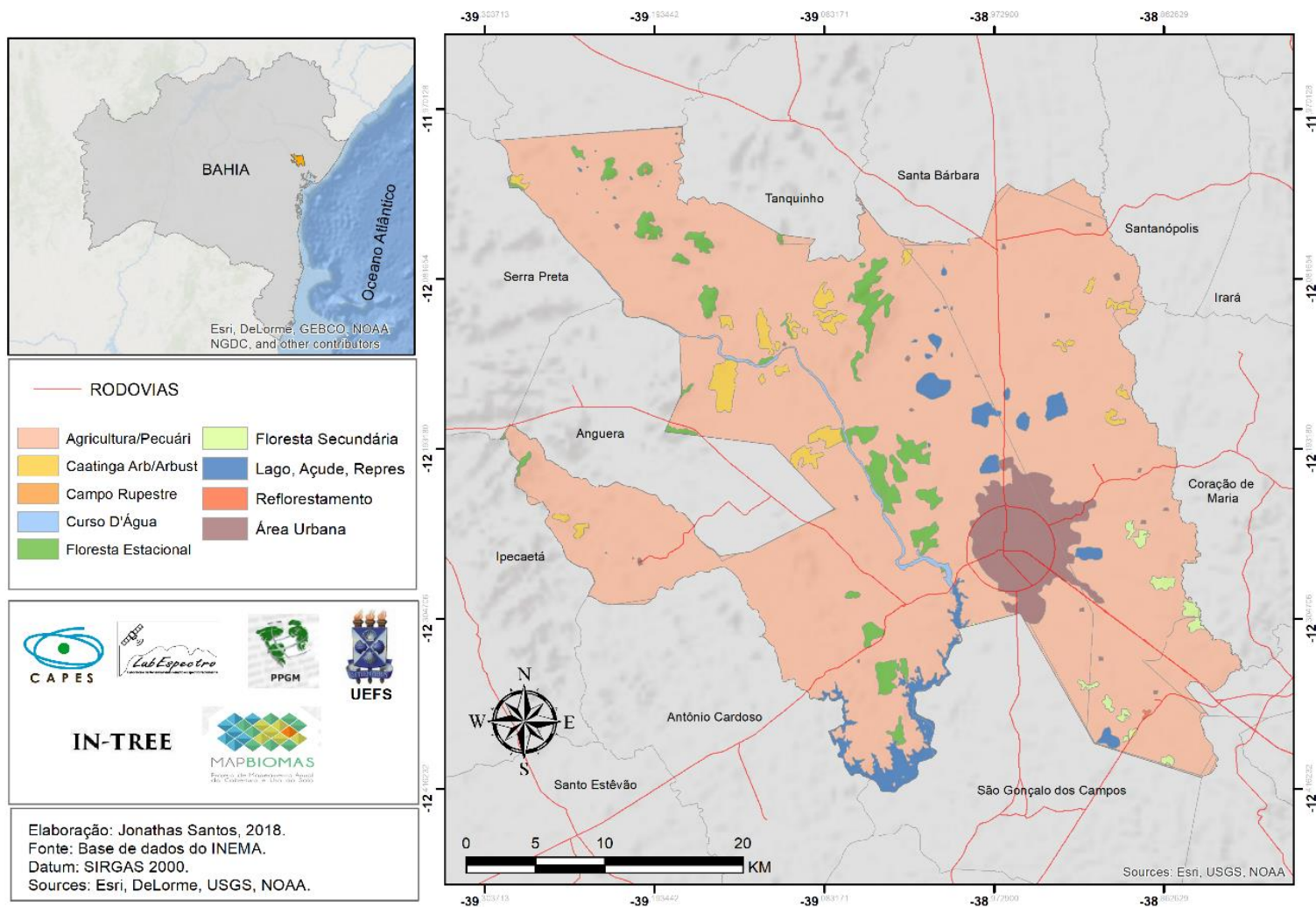


Figura 4. Uso e ocupação da terra em Feira de Santana-BA

2.1.4 Geomorfologia

O modelado do relevo de Feira de Santana é diversificado (Figura 5). Predomina na porção leste a presença de Tabuleiros Interioranos, bem como do Pediplano Sertanejo e de Formas de dissecação e aplanamentos embutidos. Os Tabuleiros Interioranos são superfícies aplanadas relacionadas com recobrimento de material sedimentar argilo-arenoso do Terciário/Quaternário sobre rochas gnáissicas do Pré-Cambriano (SILVA et al., 2012).

Na porção norte observa-se os Pedimentos funcionais ou retocados por drenagem incipiente e de Serras e maciços residuais. Os Pedimentos são superfícies de aplanamento, de inclinação suave, capeada por material detrítico descontínuo sobre a rocha, não apresentando dissecação marcada ou deposição excessiva. Os pedimentos geralmente apresentam forte ângulo no contato com a vertente montanhosa íngreme (ruptura de declive), enquanto a jusante, suaviza-se com a deposição detrítica em direção aos vales ou depressões. Situa-se na periferia de áreas montanhosas que sofreram degradação lateral da paisagem (IBGE, 2009).

Na porção oeste do município, observa-se a presença de Serras, alvéolos e depressões intermontanas. As serras constituem relevos acidentados, elaborados em rochas diversas, formando cristas e cumeadas ou as bordas escarpadas de planaltos, já as depressões são um conjunto de relevos planos ou ondulados situados abaixo do nível das regiões vizinhas, elaborados em rochas de classes variadas (IBGE, 2009).

2.1.4.1 Altitude

Em Feira de Santana, as altitudes são mais variantes na porção oeste em comparação com a porção leste do município (Figura 6). Nesse sentido, a porção leste é uma área relativamente plana, com presença de lagoas e de nascentes de alguns cursos fluviais, com altitudes entre 109 e 381 metros. Em contrapartida, a porção oeste do município apresenta altitudes variando de 109 a 616 metros. Observa-se nessa região a presença de um curso fluvial perene (rio Jacuípe) o que ajuda essa região do município apresentar maiores variações em sua topografia.

Observa-se que as áreas com maiores variações da altitude correspondem as feições geomorfológicas das serras, alvéolos e depressões intermontanas na porção oeste (Figura 5), Em contrapartida, na porção leste nas unidades geomorfológicas dos Tabuleiros interiorano e

pediplano sertanejo as menores variações. Já as formas de dissecção e aplainamentos embutidos estão localizadas tanto em áreas de menores variações da altitude entre 109 e 381 metros quanto em áreas de maiores variações de 109 a 616 metros.

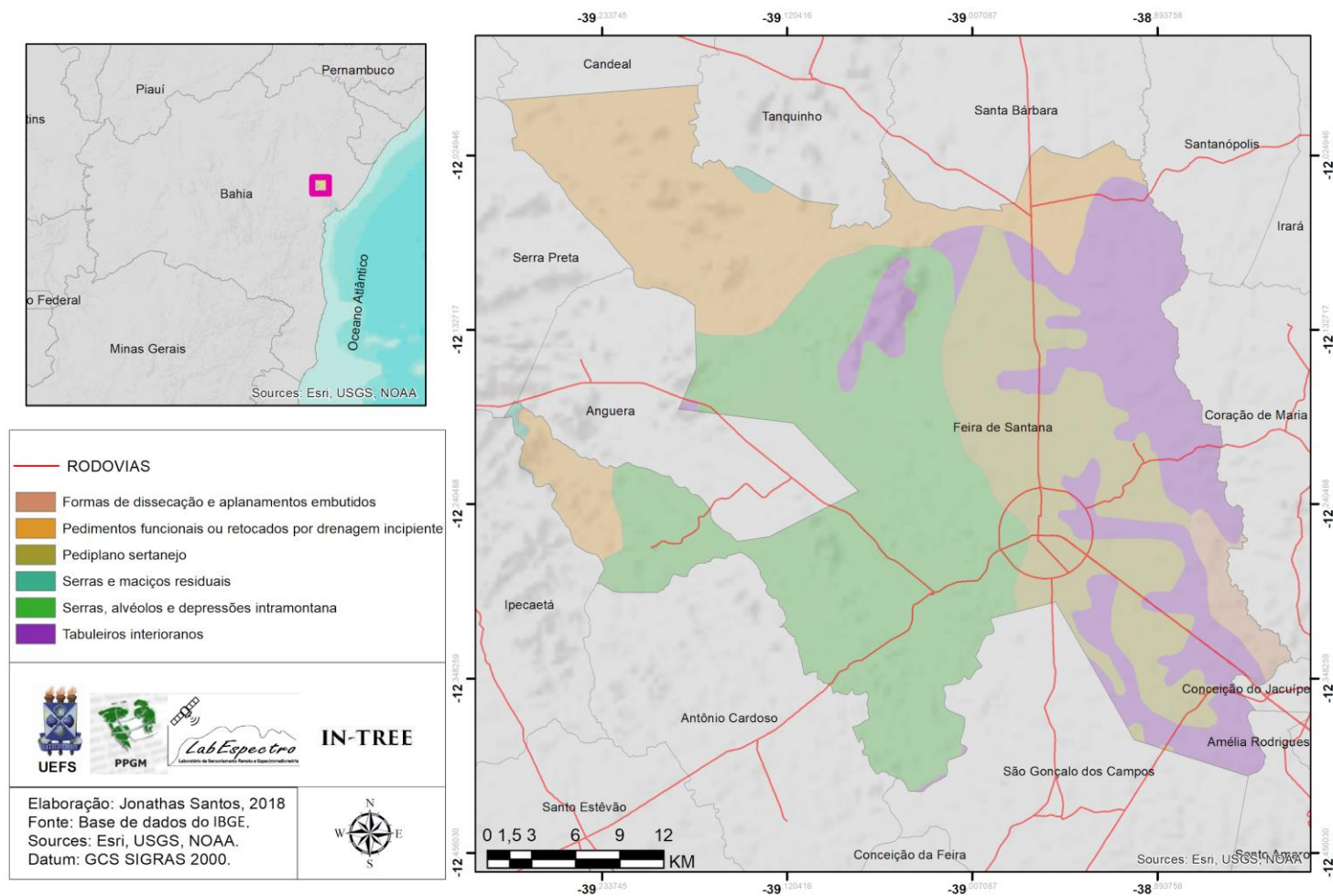


Figura 5. Mapa de Geomorfologia de Feira de Santana-BA

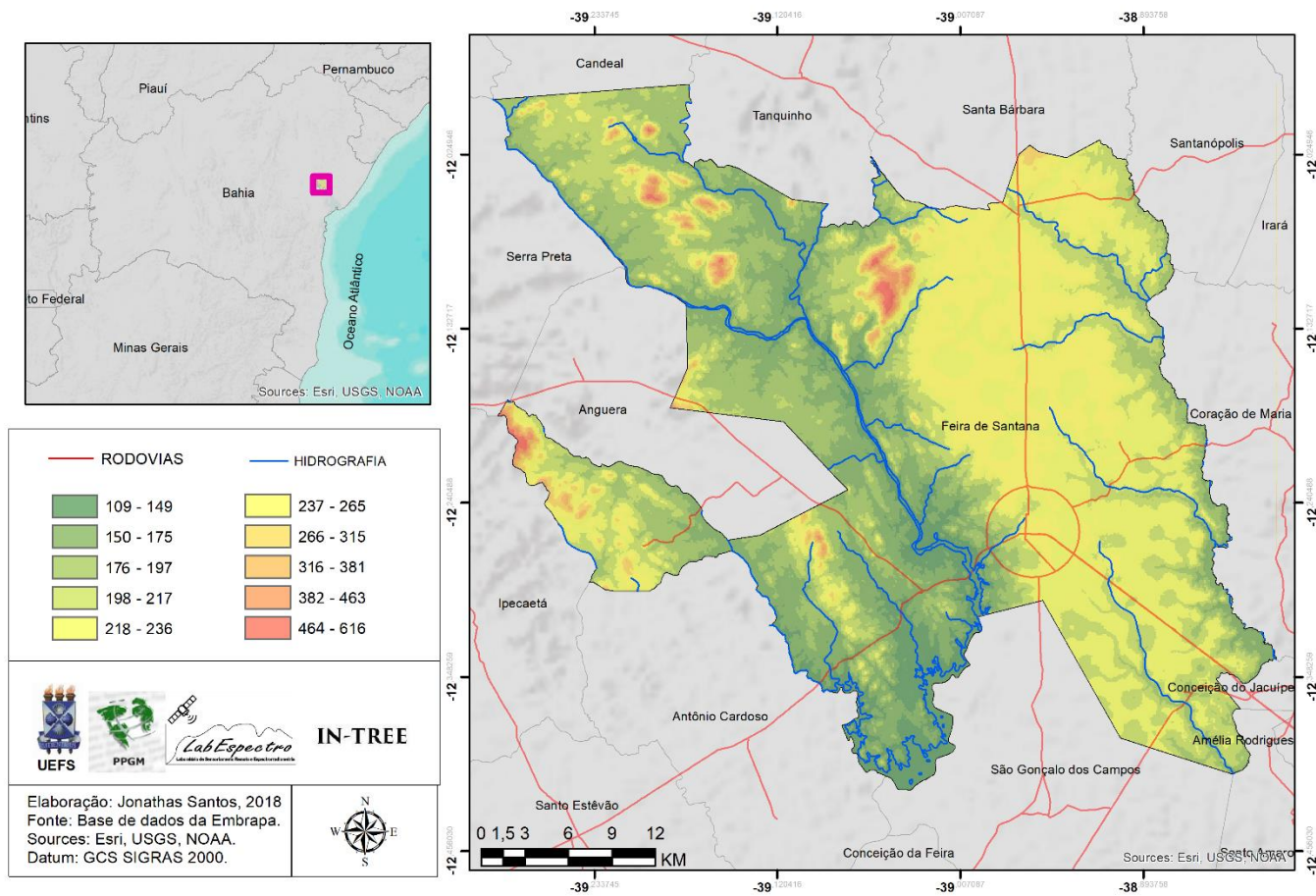


Figura 6. Mapa Hipsométrico de Feira de Santana-BA

2.2 A VARIABILIDADE ESPACIAL DE ELEMENTOS QUÍMICOS NOS SOLOS

Os atributos químicos do solo têm relação com vários fatores naturais ou não naturais, como os fatores de formação do solo (clima, relevo, organismos, material de origem e tempo), ou a ação humana (preparo do solo, adubos corretivos, uso e ocupação da terra, etc), constituindo fatores que controlam sua variabilidade espacial (BURAK et al., 2012, OLORUNLANA, 2015). Nessa perspectiva, os solos apresentam uma ampla variação dos atributos químicos, tanto vertical como horizontal, resultante da interação dos diversos fatores de formação envolvidos (SOUZA et al., 2004).

2.2.1 Influência do clima

De um modo geral, o clima influencia a variabilidade do solo em grandes escalas. Baseado em diferenças nas condições climáticas, os solos podem ser encontrados e são formados principalmente por processos influenciados pelas condições climáticas. Contudo, variabilidade de pequena escala em relevo também podem dar origem a pequenas variações no clima, tal como temperatura do solo (KLINKERT, 2014).

Uma mesma rocha poderá formar solos completamente diversos, se intemperizada em condições climáticas diferentes. Por outro lado, rochas diferentes formam solos similares, quando sujeitas, por um longo período, ao mesmo ambiente climático, especialmente se esse ambiente for muito quente e úmido (LEPSCH, 2011, p. 282).

A precipitação efetiva e a temperatura são as principais variáveis climáticas que influenciam a formação do solo e que conseqüentemente também podem afetar a variabilidade dos elementos dos solos. a latitude influi no fenômeno de desenvolvimento dos solos, pois a velocidade das reações químicas que neles se processam, é positiva e diretamente relacionada com o aumento da temperatura. (OLIVEIRA, et al, 1992; BRADY, 2013).

2.2.2 Influência do relevo

O relevo é um dos fatores de formação usado em mapeamento de solos devido sua forte correlação com a variabilidade espacial de atributos do solo na paisagem (CEDDIA et al., 2009). O relevo pode influenciar o escoamento superficial e subsuperficial do solo, o que

pode contribuir para a criação de zonas homogêneas ou não homogêneas de nutrientes (BURAK et al., 2012).

Além disso, o relevo pode influenciar na diversidade de espécies animais e vegetais, redistribuição (erosão e /ou deposição) das partículas do solo (ARTUR et al., 2014). Logo, é verificável que a forma do relevo influencia muito mais a magnitude da variabilidade dos atributos do solo que a erosão. Portanto, as formas do relevo podem ser indicadores da variação diferenciada dos atributos do solo, pois essa variabilidade é causada por pequenas alterações do declive que afetam os processos pedogenéticos (SOUZA et al., 2004; SANCHEZ et al., 2009).

2.2.3 Influência do material de origem

O material de origem é um dos importantes agentes responsáveis pela variabilidade espacial das características do solo dentro de uma determinada classe (JENNY, 1994). O material de origem influencia grandemente no desenvolvimento e na distribuição dos solos, bem como nas suas características químicas (SHAW et al., 2004). Pode influenciar a distribuição das argilas e dos nutrientes minerais existentes nos solos (MUSTAPHA & FAGAM, 2007).

Por exemplo, a presença de calcário em um material de origem vai retardar o desenvolvimento da acidez que normalmente ocorre em climas úmidos. A natureza do material de origem influencia os tipos de argilas que se formam quando o solo se desenvolve. O material de origem também pode conter argilominerais, provavelmente formados em um ciclo anterior ao intemperismo. Por sua vez, a natureza dos minerais de argila presentes afeta muito o tipo de solo que se desenvolve (BRADY, 2013, p.36).

O material de origem pode variar muito em áreas adjacentes entre si, atribuem as propriedades químicas e físicas do solo e podem afetar a drenagem do solo, a porosidade e a disponibilidade de água da planta, entre outras coisas (SCHOONOVER & CRIM, 2005). Logo, o material de origem tem primordial importância nos atributos químicos do solo podendo afetar a sua variabilidade espacial (OLIVEIRA et al., 1992; BRADY, 2013).

2.2.4 Influência dos Fatores Antrópicos

Fatores antrópicos também afetam a variabilidade espacial dos elementos dos solos, como o uso e manejo do solo e da cultura que com o passar do tempo, conduz a aumento na

sua heterogeneidade, por meio dos processos de desmatamento, preparo do solo, rotações de cultura, aplicação de fertilizantes (CAVALCANTE et al., 2007). Nessa perspectiva, a variabilidade espacial para os atributos químicos e físicos pode ser influenciada pelo histórico de uso e manejo do solo de uma determinada área (VIEIRA et al., 2011).

2.3 SENSORIAMENTO REMOTO E ESPECTRORRADIOMETRIA DE SOLOS

2.3.1 Sensoriamento Remoto e radiação eletromagnética

Sensoriamento remoto é uma das mais produtivas tecnologias de coleta automatizada de dados para o levantamento e monitoração dos recursos terrestres em escala global (MENESES et al., 2012). Nesse sentido, Florenzano (2007), relata que o Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície.

A energia pode ser luz como as dos raios de sol ou outra forma de radiação eletromagnética como uma luz artificial, um exemplo de um sensor remoto convencional é o da câmera fotográfica, onde a luz refletida de um objeto passa através da lente e um sensor sensível o detecta (BAKKER et al., 2001). A energia da luz solar é chamada de espectro eletromagnético ou ondas eletromagnéticas, a distância do pico de uma onda ao pico da próxima onda é chamada de comprimento de onda (NOWATZKI et al., 2017).

Na atualidade, a utilização do Sensoriamento Remoto tem permitido com a obtenção de imagens, em conjunto com outros dados da superfície terrestre, mapear diferentes alvos (JENSEN, 2009). Nesse sentido, essa tecnologia tem sido usada como fonte de dados de entrada para a modelagem de processos ambientais, tornando-se uma técnica popular nos últimos anos (MELESSE et al., 2007).

Atualmente, a resolução espectral das imagens obtidas pelos sensores imageadores já ultrapassa centenas de bandas, e a resolução espacial de muitas imagens já é maior que 1 metro, possibilitando suas aplicações nas áreas de levantamentos de recursos naturais e mapeamentos temáticos, entre outros (MENESES et al., 2012). Existem dois tipos de sensores, os ativos que transmitem um sinal e depois recebem a resposta refletida, e os passivos que coletam a energia radiante natural refletida ou emitida por um objeto (FALKNER & MORGAN, 2002).

2.3.2. Espectrorradiometria de Solos

Observa-se que a radiação solar incidente na superfície terrestre interage de modo diferente com cada tipo de alvo. Esta diferença é determinada principalmente pelas diferentes composições físicas e químicas dos objetos ou feições terrestres. Estes fatores fazem com que

cada alvo terrestre tenha sua própria assinatura espectral (FIGUEIREDO, 2005). Observando a assinatura espectral de um determinado alvo, pode-se realizar diferentes estudos, como o estudo de solos (DEMATTE, 2004; BELLINASO et al., 2010; VISCARRA-ROSSEL et al., 2006).

Os solos são um sistema heterogêneo em que os processos e os mecanismos são complexos e difíceis de compreender plenamente. Muitas técnicas analíticas de solo convencionais são usadas na tentativa de estabelecer a relação entre propriedades físicas e químicas do solo e componentes individuais do solo, muitas vezes desconsiderando suas complexas interações de múltiplos componentes (VISCARRA-ROSSEL et al., 2006).

Nessa perspectiva, Genú & Demattê (2012) expõem que técnicas rápidas e de baixo custo para o diagnóstico dos atributos dos solos são de grande valia para a avaliação e o manejo. Nesse sentido surge a espectrorradiometria, os primeiros trabalhos de espectrorradiometria, foram realizados nas décadas de 60 e 70 com Bowers & Hanks (1965) e Hunt & Salisbury (1970) e logo depois a técnica se divide em várias ramificações, incluindo o estudo dos solos com a resposta espectral (GENÚ et al., 2013).

Bellinaso (2010) discute que o uso de sensores terrestres na obtenção de dados espectrais de solos tem permitido a caracterização desses. Logo, a ciência buscou desenvolver técnicas que ajudassem a melhor caracterizar os tipos de solos. Em muitos estudos recentes, a aplicação de técnicas de espectrorradiometria ganhou muita atenção, principalmente porque essas técnicas demonstraram ser mais rápidas e baratas, ganhando credibilidade na comunidade científica (BELLINASO et al., 2010).

Segundo Lippert (2014), o equipamento de Sensoriamento Remoto que pode executar um relatório gráfico da reflectância, obtidos ao longo de um faixa do espectro eletromagnético é o espectrorradiômetro. Este equipamento proporciona uma curva espectral que descreve as propriedades radiométricas de um determinado material através da espectroscopia de reflectância. Logo, a espectroscopia de reflectância ou espectrorradiometria é uma técnica avançada dentro Sensoriamento Remoto que registra o fluxo de radiação eletromagnética refletida por objetos, não havendo o contato físico entre o sensor e o alvo (PINTER, 2010). A espectrorradiometria é a ciência que estuda os espectros derivados da interação da energia eletromagnética com os objetos radiantes (luz emitida, refletida ou transmitida), envolvendo comprimentos de onda no intervalo de 1 nanômetro a 1000 micrômetros, isto é, um bilionésimo a um milésimo de metro ($10^{-9} - 10^{-3}$ m) (ALBA, 2007).

Para a avaliação espectrorradiométrica de solos é necessário, primeiramente, a preparação das amostras. Nesse sentido, é realizado o peneiramento dos solos em peneira de malha de 2,0 mm, logo em seguida, as amostras são colocadas em placas de petri de 9 cm de diâmetro e levadas para secagem na estufa com renovação e circulação de ar, a 45°C durante 24 horas (BEN-DOR et al., 1999). Posteriormente, são feitas as avaliações utilizando o espectrorradiômetro com comprimentos de ondas geralmente de 350 a 2500 nanômetros. Para cada amostra de solo são realizadas 3 leituras espectrais girando-se a placa de petri cerca de 120 graus entre cada leitura, para que seja feita a varredura de diferentes pontos da placa (NANNI & DEMATTÊ, 2006).

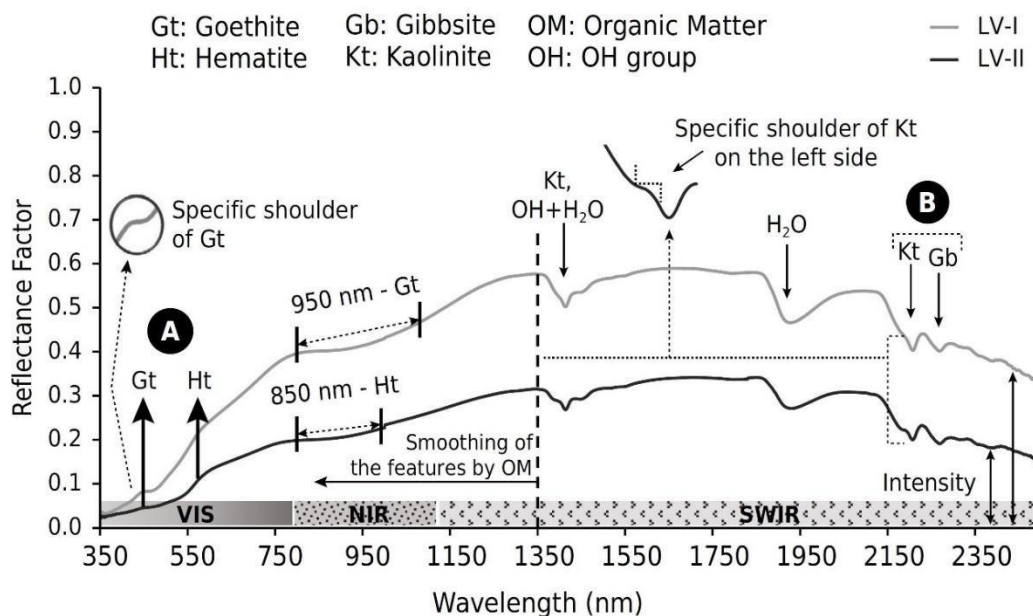
A espectroscopia de reflectância pode ser muito útil na avaliação de variações pontuais do solo - em profundidade (de diferentes camadas e, ou horizontes) devido à interação da luz com propriedades do solo refletindo dados intrínsecos relacionados com eles (DEMATTÊ et al., 2014). Também pode ser utilizada como alternativa para quantificação de atributos como matéria orgânica do solo (MOS) (DOTTO et al., 2014) e para caracterização granulométrica de amostras de solos de diferentes classes texturas (FRANCESCHINI et al., 2013 e DOTTO, et al., 2014), entre outros. Além disso, pode-se avaliar as características do solo, observando os fatores que influenciam o comportamento espectral e identificação de minerais.

A reflectância dos solos é governada por diversos fatores que também influenciam a assinatura espectral pelos processos de absorção (NANNI & DEMATTÊ, 2006). Nesse sentido, pode-se utilizar dos dados espectrais na quantificação dos atributos dos solos, com a utilização de técnicas estatísticas para discriminar a resposta desses atributos a partir de suas características espectrais (VISCARRA ROSSEL et al., 2006).

A exemplo de Chang et al., (2001) que avaliou a capacidade da espectroscopia de reflectância no infravermelho próximo (NIRS) para prever várias propriedades do solo como elementos maiores, areia, silte e argila ; Cezar et al., (2013) estimou os teores de silte, areia, argila, soma de bases, matéria orgânica e ferro total em amostras de solo, a partir de sua energia refletida por meio de regressão linear múltipla; Romagnoli et al., (2014) que utilizou o método PLSR (ParLeS) e a regressão linear múltipla com seleção de variáveis *Stepwise* (SAS), para predição do carbono orgânico do solo por meio de dados de reflectância; Demmatê et al., (2016) que estudou a qualidade dos modelos de predição de atributos dos solos, como módulos de regressão por mínimos quadrados parciais (PLS) e projeção em regressão de estruturas latentes (PLSR).

Observando a figura 7, que demonstra o comportamento espectral de um solo ao longo do espectro *VIS*, *NIR* e *SWIR*, é verificável a identificação de atributos e características como a mineralogia, matéria orgânica, grupos de hidroxilas e óxidos de ferro. Tais conteúdos são principalmente identificados por meio das absorções espectrais e feições características nas bandas do espectro.

Figura 7- Exemplo de avaliação espectral do solo ao longo do espectro eletromagnético. As setas nas absorções representam a identificação de uma característica espectral de um mineral, matéria orgânica ou elemento químico.



Fonte: Poppiel et al. (2018)

Uma das técnicas de avaliação do comportamento espectral dos solos pelo sensoriamento remoto segundo Ben-Dor (2009) é a espectroscopia de imagem, uma ferramenta promissora para estudar propriedades dos solos em grandes domínios espaciais. Ainda de acordo com Bem-Dor (2009) a espectroscopia de imagem por projetar a informação espectral em um domínio espacial contribui com um novo método de investigação dos solos, além de poder ser operada em diferentes distâncias.

2.4 A GEOESTATÍSTICA

A Geoestatística é uma ferramenta que emprega a definição de variáveis regionalizadas na avaliação de variabilidade espacial por meio da extração e organização espacial dos dados disponíveis de acordo com a semelhança entre pontos vizinhos georreferenciados (GREGO et al., 2014). É uma poderosa ferramenta utilizada em estudos de dependência espacial, o seu uso implica na definição de um plano de amostragem, para o qual define-se número e espaçamento dos pontos onde as amostras serão coletadas (ALMEIDA et al., 2011; GUIMARÃES et al., 2016).

A técnica tem início na África do Sul, quando o engenheiro de minas Daniel G. Krige e o estatístico H.S. Sichel, desenvolveram empiricamente uma técnica própria de estimativa para o cálculo de reservas minerais, a qual posteriormente recebeu tratamento formal por G. Matheron, no início dos anos 60 do século passado, na França com o nome Geoestatística, para o estudo das chamadas variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis com condicionamento espacial (LANDIM, 2006, p. 21).

Nas bases da Geoestatística existem o conceito de probabilidade, sendo que pode ser utilizada para descrever e modelizar padrões espaciais (variografia), para prever os valores de variáveis em locais não amostrados (Krigagem), para obter a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados (variância da Krigagem) e para otimizar malhas de amostragens (ANDRIOTTI, 2003).

A Geoestatística tem sido muito utilizada atualmente nos estudos dos solos baseando-se na aplicação de tecnologias de maneira localizadas de acordo com a variabilidade espacial, a exemplo da sua utilização para a avaliação da distribuição de elementos maiores nos solos (WEI et al., 2017); na identificação da variabilidade de atributos mineralógicos (CAMARGO et al., 2008); na distribuição espacial da umidade do solo (ÁVILA et al., 2010); na agricultura de precisão (SILVA & LIMA, 2009; GREGO et al., 2014);

Estudos também sobre a distribuição do carbono orgânico nos solos (ALLAIRE et al., 2012; CAMBULE et al., 2014; CHEN et al., 2015); metais pesados (SILVA et al., 2013; GONZÁLEZ et al., 2014; LI et al., 2015); da matéria orgânica (LEITE et al., 2015); no Mapeamento Digital de Solos (BISHOP et al., 2015); na avaliação das propriedades dos solos (TRANGMAR et al., 1985; SUMFIETH et al., 2008; CAMPOS et al., 2013; LIMA et al., 2014); no mapeamento 2,5D dos atributos pedológicos (CHOI & PARK, 2009; , ADHIKARI et al., 2013), entre outras temáticas de investigação dos solos.

2.4.1 Semivariograma

O semivariograma é a parte central dos estudos geoestatísticos, sendo capaz de descrever tanto qualitativa quanto quantitativamente a variação espacial, além de ser o ponto chave na determinação do preditor geoestatístico–krigagem (MELLO et al., 2005). Nessa perspectiva, o valor de cada ponto distribuído no espaço está relacionado de algum modo com valores obtidos a partir de pontos situados a certa distância, sendo razoável pensar que a influência é tanto maior quanto menor for a distância entre os pontos (LANDIM, 2006). A dependência espacial entre as observações pode ser expressa através do semivariograma, estimado pela seguinte equação (CARVALHO et al., 2002):

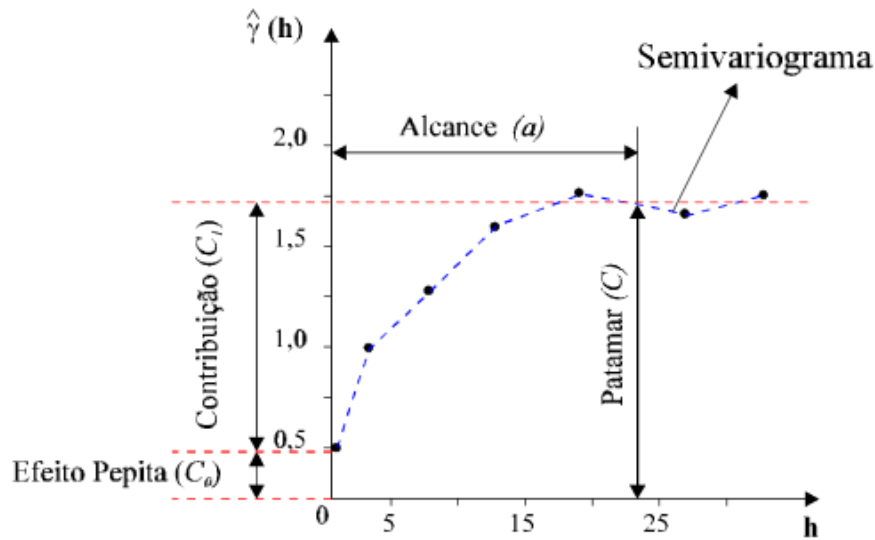
$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Onde $\hat{\gamma}(h)$ é a semivariância estimada entre pares de pontos, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ medidos em locais afastados entre si da distância h . Esta equação permite gerar o semivariograma experimental. O próximo passo é ajustar uma função matemática que expressa a estrutura de dependência espacial da característica avaliada dentro do semivariograma. (MELLO et al., 2003; MELLO et al., 2005).

A figura 8 exemplifica as características de um semivariograma, observa-se que os pontos mais próximos geograficamente têm um comportamento mais semelhante entre si do que aqueles separados por maiores distâncias. Desta maneira, é esperado que $\hat{\gamma}(h)$ aumente com a distância h , (CAMARGO, 1998).

Os parâmetros do semivariograma também podem ser observados na figura 8. O *Alcance* (a) refere-se a distância dentro da qual as amostras mostram-se correlacionadas espacialmente. O *Patamar* (c) está correlacionado com o alcance e considera-se que desse ponto em diante não existe mais dependência espacial. *Efeito Pepita* (C_0) mostra a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. A *contribuição* (C_1), é a diferença entre o *Patamar* (c) e o *Efeito Pepita* (C_0), (CAMARGO, 1998).

Figura 8. Exemplo de um semivariograma experimental. Observa-se o Efeito Pepita representado por (C_0) que possui um valor até 0.5. Uma contribuição (C_I) com valores de 0.5 até aproximadamente 1.7. O semivariograma está representado por pontos correlacionados espacialmente (h) entre si até o Patamar (C), possuindo um Alcance (a) de aproximadamente 25 metros de boa correlação espacial.



Fonte: Matheron, G. (1971); Camargo (1998).

2.4.2 Krigagem

Frequentemente se utiliza o método de interpolação por krigagem, a denominação foi dada em homenagem a Daniel G. Krige. A Krigagem tem como princípio ponderar os vizinhos mais adjuntos do ponto a ser estimado, obedecendo os critérios de não tendenciosidade, que significa que em média a diferença entre valores estimados e observados para o mesmo ponto de ser nula e ter mínima variância, ou seja, que os estimadores possuam a menor variância dentre todos os estimadores não tendenciosos (GREGO et al., 2014).

A qualidade essencial de uma estimativa não é simplesmente associar um valor a um ponto ou a um bloco, mas também associar a essa avaliação uma ideia da qualidade da estimativa, dimensionando o erro existente, ou seja, é necessário que se saiba quão distante o valor atribuído pode estar do valor real. A Geoestatística, por intermédio da Krigagem, fornece uma estimativa do ponto ou do bloco e, juntamente com ela, uma medida de acuracidade dessa estimativa (ANDRIOTTI, 2003, p.134).

A Krigagem leva em consideração o número de amostras utilizadas, as posições das amostras na área a ser avaliada, as distâncias entre as amostras e a zona a ser estimada, e a

continuidade espacial da variável em estudo, existindo diferentes métodos de Krigagem como a Krigagem Simples, Universal, Ordinária, Indicativa e CoKrigagem (ANDRIOTTI, 2003).

2.5 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA ESPECTRORRADIOMETRIA E GEOESTATÍSTICA DE SOLOS: DISCUSSÃO EM 10 ANOS

2.5.1 RESUMO

O aumento das pesquisas bibliométricas na mensuração da atividade científica tem favorecido o desenvolvimento de indicadores importantes. Nessa perspectiva, pretende-se analisar multitemporalmente as publicações em periódicos científicos sobre espectrorradiometria e solos, geoestatística de solos, em uma escala temporal de 10 anos. Logo, utilizou-se a plataforma SCOPUS para a análise, configurando os dados de busca, selecionando somente os artigos, o limite de busca por ano e o limite de campo de conhecimento. Logo depois, as informações gerais de todos os periódicos incluindo país de publicação, nome dos autores, coautores, citações, entre outros, foram exportados e estabeleceu-se as redes semânticas no programa VOSviewer®, selecionando-se o período de 2007 a 2017. Observou-se um crescimento do número de publicações dos dois temas pesquisados ao longo do tempo, os países que mais publicaram sobre espectrorradiometria e solos são os EUA e o Reino Unido e, sobre geoestatística de solos a China e o Brasil.

Palavras-Chave: Análise Multitemporal; Densidade de publicações; Redes semânticas;

2.5.2 ABSTRACT

The increase of bibliometric surveys in the measurement of scientific activity has favored the development of important indicators. In this perspective, we intend to analyze the publications in scientific journals on spectroradiometry and soils, geostatistics and soil fertility on a 10-year time scale. Therefore, the SCOPUS platform was used for the analysis, configuring the search data, selecting only the articles, the search limit per year and the knowledge field limit. Subsequently, the general information of all journals including country of publication, authors' names, co-authors, citations, among others, were exported and semantic networks were established in the VOSviewer® program, selecting the period from 2007 to 2017. There was an increase in the number of publications of the two themes surveyed over time, the country that most published on spectroradiometry and soils is the USA, and on geostatistics and soil fertility in China and Brazil.

Keywords: Multitemporal Analysis; Density of publications; Semantic networks;

2.5.3 INTRODUÇÃO

A utilização da bibliometria tem favorecido o desenvolvimento de indicadores quantitativos e ferramentas importantes. O aumento de sua utilização na mensuração da

atividade científica se deve, em parte, à propagação e disponibilidade de fontes e recursos de informação em formato digital. Estas fontes informatizadas tornaram possível o acesso e a manipulação de grandes volumes de dados (LIMA et al., 2010).

Na atualidade, duas técnicas de difusão recente no meio científico despertam atenção para a análise bibliométrica: espectrorradiometria de solos e a geoestatística de solos. A espectrorradiometria ou espectroscopia de reflectância é uma técnica avançada dentro do sensoriamento remoto muito útil na avaliação de variações pontuais do solo, podendo ser utilizada para identificar as classes e propriedades de solos com grande precisão (GENÚ et al., 2013; DEMATTÊ, 2014; BONETT et al., 2015). O uso de sensores terrestres na aquisição de dados espectrais de solos tem favorecido a caracterização e o avanço de técnicas de quantificação de atributos (BELLINASO et al., 2010).

A espacialização de dados de solo, por meio da geoestatística, tem sido utilizada em vários tipos de pesquisas na atualidade. Nesse sentido, o estudo da variabilidade espacial dos atributos solo é de extrema importância para que se possa aprimorar as opções de manejo e melhorar a rentabilidade do sistema de produção (BERNARDI et al., 2014). Além disso, o conhecimento das distintas variáveis pode ser uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de projetos relacionados a métodos de interpolação e metodologias estatísticas para validar a correlação entre as características referentes aos solos (RONQUIM, 2010). Nessa perspectiva, este trabalho tem o objetivo de analisar multitemporalmente as publicações em periódicos científicos sobre espectrorradiometria de solos e geoestatística de solos, em uma escala temporal de 10 anos.

2.5.4 MÉTODOS

Para a análise bibliométrica da espectrorradiometria de solos, geoestatística de solos, utilizou-se a plataforma SCOPUS, tratando-se uma base de dados originalmente europeia pertencente a editora Elsevier. A plataforma possui atualmente uma ampla coleção de periódicos científicos, sendo uma das maiores bases de dados de periódicos do mundo, incluindo artigos publicados a partir de 1966 (FALAGAS et al., 2008; PUCCINI et al., 2015).

Para a pesquisa dentro da plataforma, configurou-se os dados específicos, definindo os assuntos de interesse, selecionando somente os periódicos científicos, o limite de busca por ano e o limite de campo de conhecimento. Com os resultados da pesquisa, observou-se os

dados analíticos em gráficos em escala global dentro da plataforma: os países, autores, campos de conhecimento que mais publicaram sobre o tema, os tipos de documentos publicados, além da evolução temporal das publicações ao longo dos anos.

Logo depois, as informações gerais de todos os artigos incluindo país de publicação, nome dos autores, coautores, citações, entre outros, foram exportados em formato csv para serem estabelecidas as redes semânticas no programa VOSviewer®. No software, as redes foram estabelecidas por países que mais publicaram o tema espectrorradiometria de solos e geoestatística da fertilidade dos solos, com as conexões entre eles em rede e com a visualização em diferentes escalas.

A análise da evolução temporal de dez anos de publicação consistiu na seleção do período de 2007 a 2017, tratando-se de um tempo mais recente para a avaliação da evolução das publicações. Nessa perspectiva, estabeleceu-se um gradiente entre o período com cores em lilás próximo de 2007, em azul e verde entre 2010 e 2014, em amarelo entre 2016 e 2017, permitindo a interpretação dos países que já publicaram o tema desde 2007 e os países mais recentes na publicação do tema.

2.5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estudos sobre a espectrorradiometria de solos têm aumentado de forma exponencial desde o início dos anos 2000, fato identificado na evolução temporal das publicações envolvendo o tema no mundo (Figura 9). Os primeiros trabalhos, avaliando o comportamento espectral dos alvos mediante sua resposta espectral, foram realizados nas décadas de 60 e 70 com Obukhov & Orlov (1964); Bowers & Hanks (1965); Hunt & Salisbury (1970), ao longo desse período, foram surgindo várias ramificações (BELLINASSO et al., 2010; GENUÍ et al., 2013, DEMATTÊ, 2014).

Como exemplo da evolução das ramificações dos estudos de solos por meio da espectrorradiometria de acordo com a Nasa (1987), tem-se as investigações sobre a estrutura (OBUKHOV & ORLOV, 1964), óxidos de ferro e mineralogia (BOWERS & HANKS 1965; BAUMGARDNER & STONER, 1982) a matéria orgânica (MYERS & ALLEN, 1968), tamanho e distribuição das partículas (KARMANOV, 1970), umidade (PLANET,

1970; BOWERS & SMITH, 1972), e material parental para a reflectância de solos naturais (STONER et al.,1980).

De 2007 a 2017 com as crescentes demandas de dados sobre solos, vários estudos se empenharam no desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de avaliação de atributos por espectrorradiometria, a exemplo de Cezar et al., (2013) que estimou os teores de silte, areia, argila, soma de bases, matéria orgânica e ferro total em amostras de solo, a partir de sua energia refletida por meio de regressão linear múltipla; Romagnoli et al., (2014) que utilizou o método PLSR (ParLeS) e a regressão linear múltipla com seleção de variáveis *Stepwise* (SAS), para predição do carbono orgânico do solo por meio de dados de reflectância; Demmatê et al., (2016) que estudou a qualidade dos modelos de predição de atributos dos solos.

Analisando a rede semântica, dentre os países que mais publicaram sobre o tema espectrorradiometria de solos de 2007 a 2017, os Estados Unidos, Canadá e Reino Unido destacam-se desde 2007. Tal fato pode estar associado a língua inglesa predominante nos três países e as publicações por filiações de outros países, sendo que os Estados Unidos foi o país pioneiro no desenvolvimento da espectrorradiometria.

Em meados de 2010 a Alemanha, Itália, França e Nova Zelândia também ganham destaque e logo depois em 2012 o Brasil, China e demais países tem publicações envolvendo o tema (Figura 10). Observando a densidade de periódicos sobre o tema (Figura 11), verifica-se que nesse período o maior número de publicações é dos Estados Unidos, Brasil, Alemanha e China.

Documents by year

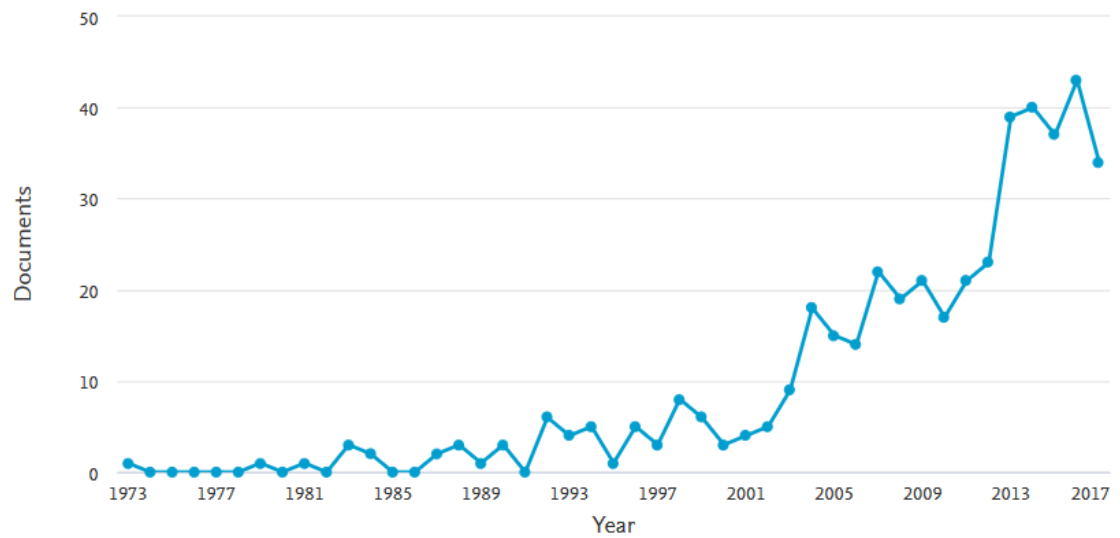


Figura 9. Publicações em periódicos científicos no mundo sobre espectrorradiometria e solos de 1973 a 2017. Observa-se uma maior ascensão de publicações no início dos anos 2000. Fonte: SCOPUS, 2018.

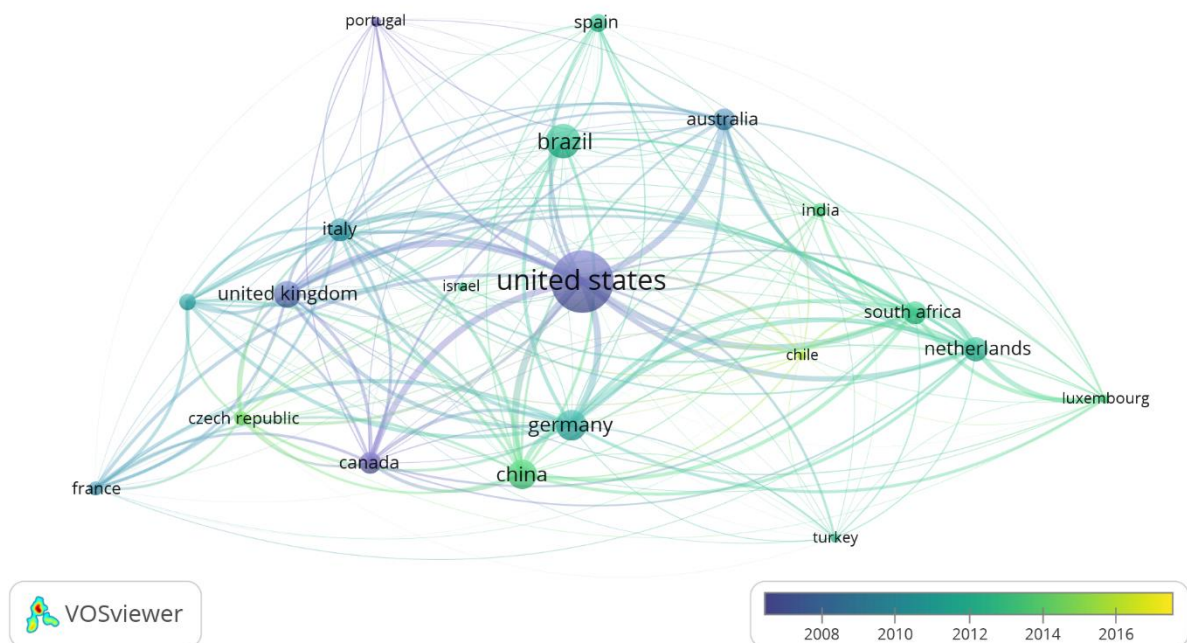


Figura 10. Países que mais publicaram artigos no mundo com o tema Espectrorradiometria de solos ao longo dos anos 2007 a 2017.

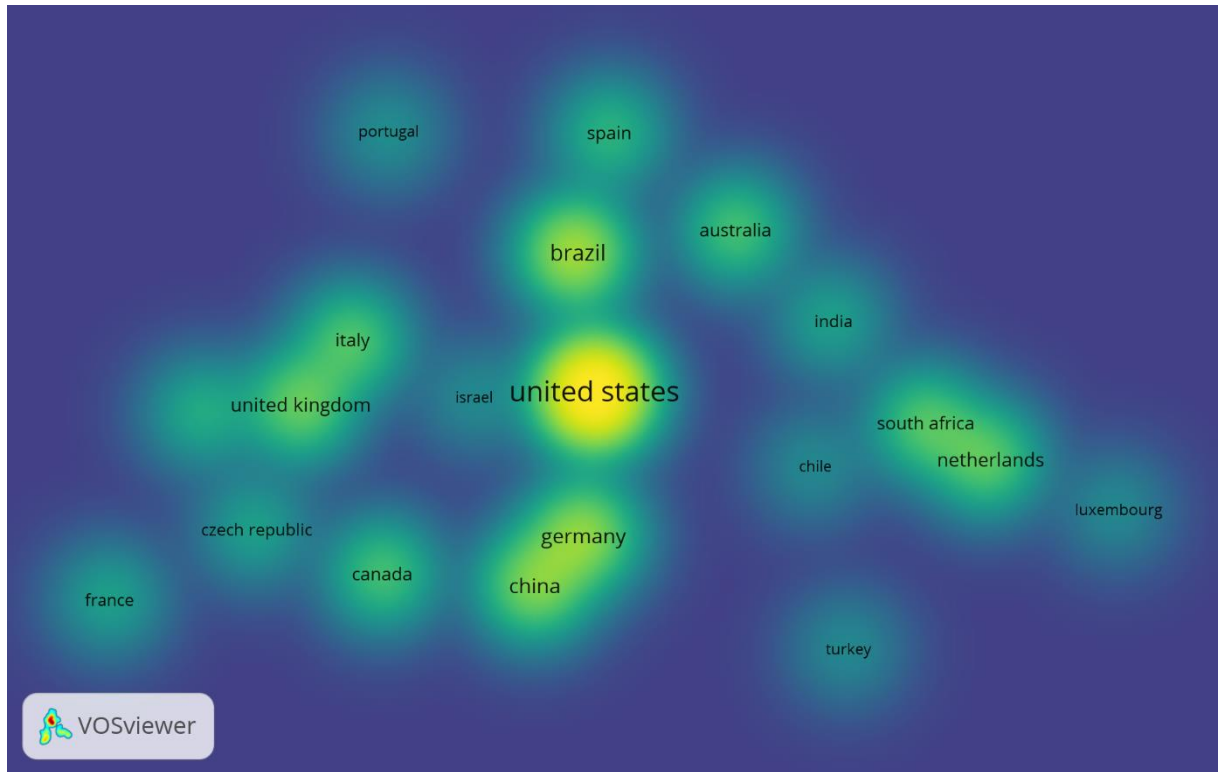


Figura 11 Densidade de periódicos científicos no mundo envolvendo o tema Espectrorradiometria e solos. As cores em maiores densidades representam os países que mais publicaram o tema. Em contrapartida, as cores com menores densidades os países que publicaram o tema, mas em menor quantidade.

Observando o gráfico temporal de publicações científicas no mundo sobre geoestatística de solos, é verificável que o número de publicações envolvendo o tema tem aumentado desde a década de 90 (Figura 12). A partir dessa década os estudos sobre a variabilidade espacial das propriedades dos solos torna-se uma questão fundamental para os pesquisadores (VIEIRA, 2000).

Entretanto, o crescimento do número de publicações está relacionado ao desenvolvimento de três fatores, o primeiro deles é o desenvolvimento da informática, que permitiu a inferência estatística em grandes conjuntos de dados pedométricos, por exemplo, taxonomia numérica de solos do início da década de 1960 e geoestatística a partir de meados da década de 1970, bem como modelos de simulação de processos do solo (ROSSITER, 2018).

Um segundo fator é o crescimento da rede. Isso facilitou a colaboração entre pedometristas, comunicação rápida com periódicos, programação e publicação colaborativa e fácil acesso a recursos. Um terceiro fator é a disponibilidade de armazenamento on-line de

grandes conjuntos de dados, especialmente de dados abertos, incluindo coberturas SIG e imagens de sensoriamento remoto permitindo que os cientistas individuais realizassem procedimentos complexos (ROSSITER, 2018).

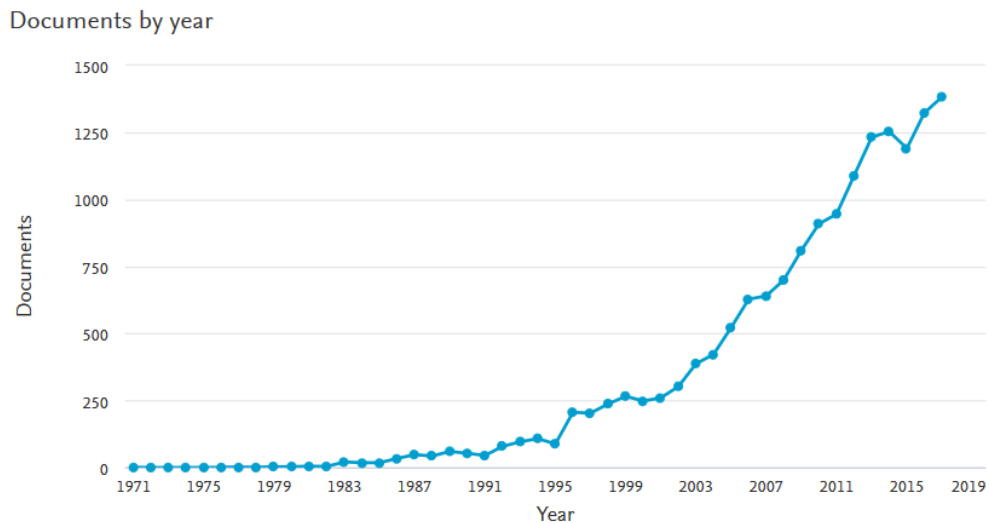


Figura 12. Publicações em periódicos científicos no mundo sobre geoestatística de solos de 1971 a 2018. Observa-se uma maior ascensão de publicações no final do ano de 1995. Fonte: SCOPUS, 2018.

De 2007 a 2017 a Geoestatística dos solos tem sido utilizada em diferentes temas baseando-se na aplicação de tecnologias de maneira localizadas de acordo com a variabilidade espacial, a exemplo da sua utilização para a avaliação da distribuição de elementos maiores nos solos (WEI et al., 2017); na identificação da variabilidade de atributos mineralógicos (CAMARGO et al., 2008); na agricultura de precisão (SILVA & LIMA, 2009; GREGO et al., 2014; ; ZONTA et al., 2014); na distribuição espacial da umidade do solo (ÁVILA et al., 2010).

Estudos também sobre a distribuição do carbono orgânico nos solos (ALLAIRE et al., 2012; CAMBULE et al., 2014; CHEN et al., 2015); metais pesados (SILVA et al., 2013; GONZÁLEZ et al., 2014; LI et al., 2015); da matéria orgânica (LEITE et al., 2015); no Mapeamento Digital de Solos (BISHOP et al., 2015); na avaliação das propriedades dos solos (SUMFIETH et al., 2008; CAMPOS et al., 2013; LIMA et al., 2014); no mapeamento 2,5D dos atributos pedológicos (CHOI & PARK, 2009, ADHIKARI et al., 2013), entre outras temáticas de investigação dos solos.

Analisando a rede de países que publicaram em periódicos científicos envolvendo o tema geoestatística dos solos (Figura 13), é observável que a maior quantidade de publicações

envolvendo o tema foi da China e o Brasil, fato também verificado na densidade de publicações (Figura 14). Entretanto, na análise multitemporal verifica-se que por filiação entre 2007 e 2008 os países que mais publicaram sobre o tema eram os Estados Unidos, Alemanha e Países Baixos. Em seguida, entre de 2010 a 2012 surge a Itália, Áustria e Venezuela (Figura 13).

Posteriormente, destaca-se a China e o Brasil entre 2012 a 2014, juntamente com a Espanha, Irã, Turquia, Austrália. Entre 2015 a 2017 surgem os países mais recentes em publicações como o Canadá, Croácia, Austrália, Índia e Egito. Nesse contexto, é verificável um crescente interesse pelo tema ao longo do tempo, com novos países pesquisando sobre a temática e novas conexões em redes entre eles.

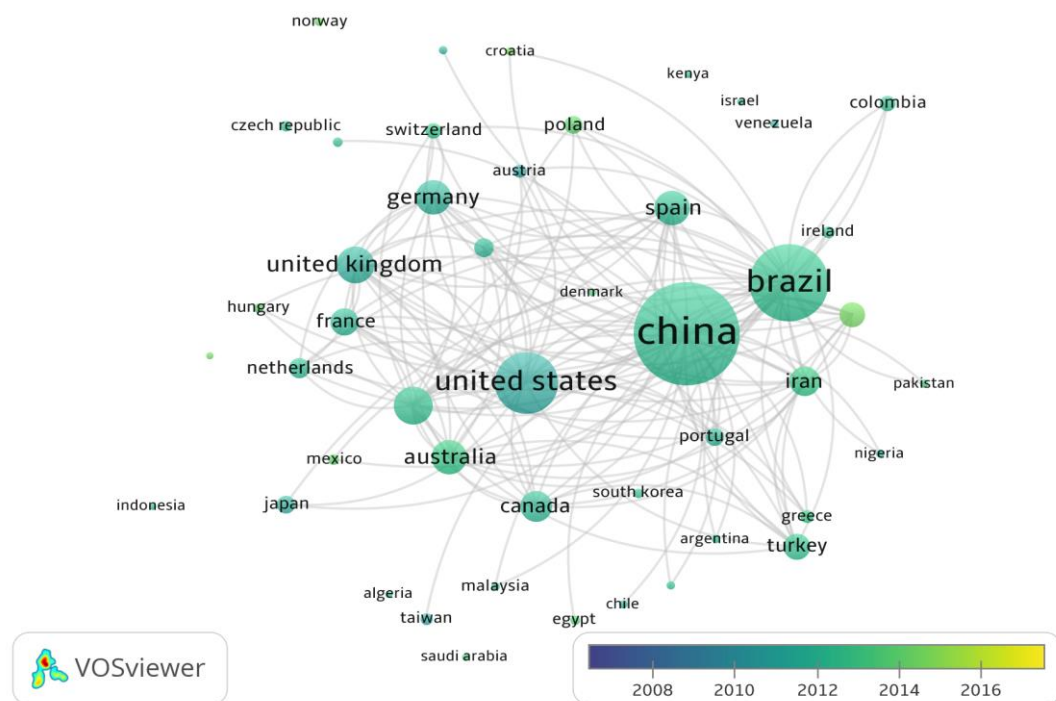


Figura 13. Países que mais publicaram em periódicos científicos no mundo envolvendo o tema Geoestatística de solos de 2007 a 2017. Os países estão representados em círculos de densidade no qual os maiores círculos possuem mais publicações. As cores de cada círculo estão correlacionadas com a paleta de cores multitemporal de 2007 a 2017.

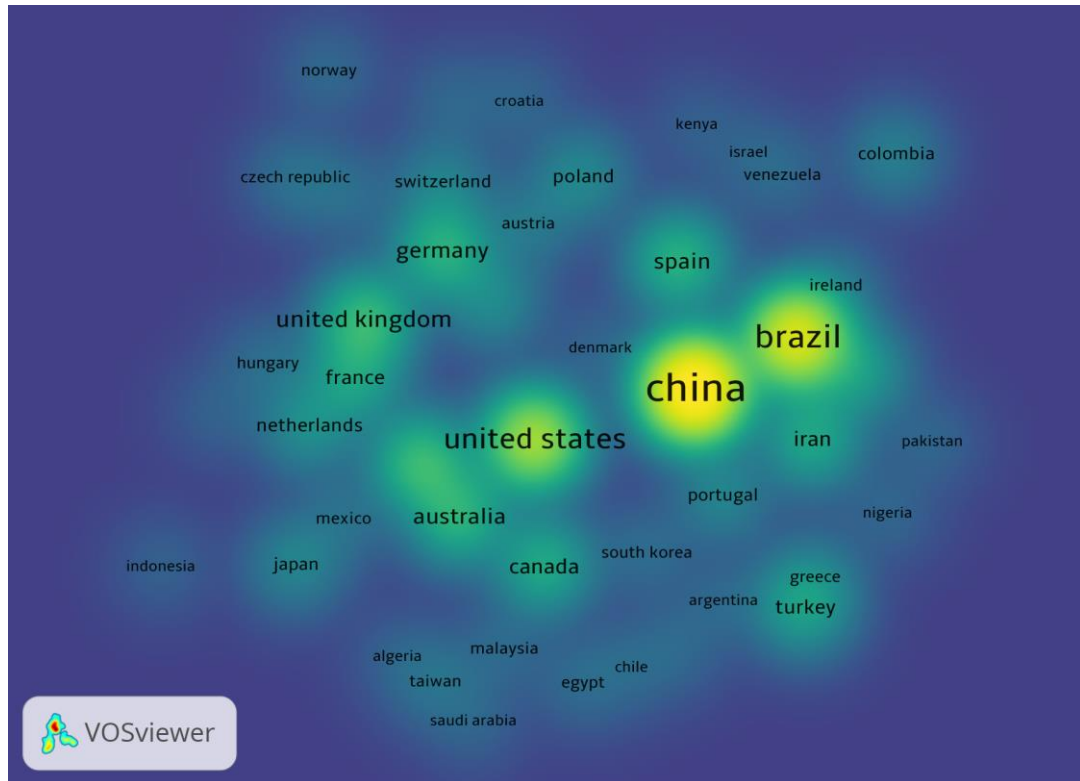


Figura 14. Densidade de periódicos científicos no mundo envolvendo o tema Geoestatística de solos. As cores em maiores densidades representam os países que mais publicaram o tema. Em contrapartida, as cores com menores densidades os países que publicaram o tema, mas em menor quantidade.

2.5.6 CONCLUSÃO

A análise bibliométrica sobre a espectrorradiometria de solos, Geoestatística dos solos demonstra um forte crescimento nas pesquisas mundiais sobre os temas em diferentes países entre 2007 e 2017. É verificado também um forte relacionamento em rede entre os países que pesquisam sobre os temas, fato relacionado ao desenvolvimento da informática, possibilitando uma maior parceria e construções de periódicos com coautores de distintos lugares.

As densidades de publicações, revela no primeiro caso uma concentração de publicações nos países pioneiros sobre o assunto, resultante do desenvolvimento e da utilização dos primeiros equipamentos de espectrorradiometria nos países como os Estados Unidos e Reino Unido, Alemanha e Brasil. No segundo caso, a densidade de publicações na China e no Brasil está relacionada com o desenvolvimento da agricultura de precisão para práticas agrícolas.

2.6 REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, K.; KHEIR, R.B.; GREVE, M.B., BOCHER, P.K.; MALONE, B.P.; MINASNY, B.; MCBRATNEY, A.B.; GREVE, M.H. High-resolution 3-d mapping of soil texture in Denmark. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 77 (3), pp. 860-876, 2013.
- ALBA, J.M.F. **O uso da Espectrorradiometria no Mapeamento de Solos: Estudo de Caso na Estação Experimental Terras Baixas.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007.
- ALLAIRE, S.E.; LANGE, S.F.; LAFOND, J.A.; PELLETIER, B.; CAMBOURIS, A.N.; DUTILLEUL, P. Multiscale spatial variability of CO₂ emissions and correlations with physico-chemical soil properties. **Geoderma**, 170, pp. 251-260, 2012.
- ALMEIDA, A.Q.; RIBEIRO, A.; PAIVA, Y.G.; RASCON, N.J.L.; LIMA, E.P. Geoestatística no estudo de modelagem temporal da precipitação. **Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambiental.** v.15, n.4, p.354–358, 2011.
- ANDRIOTTI, J.L.S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística.** Porto Alegre: Unisinos. ISBN 85-7431-171-5, 2003. 165p.
- ARTUR, A.G.; OLIVEIRA, D.P.; COSTA, M.C.G.; ROMERO, R.E.; SILVA, M.V.C.; FERREIRA, T.O. Variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, associada ao microrrelevo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.2, p.141–149, 2014.
- ÁVILA, L.F., DE MELLO, C.R., DA SILVA, A.M., Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**, 14, pp. 1257-1266. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001200002>
- BAKKER, W.H.; FERINGA, W.; GIESKE, A.S.M.; GRABMAIER, K.A.; HECKE, C.A.; HORN, J.A.; HUURNEMAN, G.C.; JANSSEN, L.L.F.; KERLE, N.; MEER, F.D.V.; PARODI, G.N.; POHL, C.; REEVES, C.V.; RUITENBEEK, F.J.V.; SCHETSELAAR, E.M.; TEMPFLI, K.; WEIR, M.J.C.; WESTINGA, E.; WOLDAI, T. **Principles of Remote Sensing: An introductory textbook.** International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, 2001.
- BAUMGARDNER, M.F., E.R. STONER, Soil mineralogical studies by remote sensing, New Delhi, India, Trans. **12th Intl.Congr. Soil Sei.**, 5, 419, Feb. 8-16, 1982.
- BEN-DOR, E.; CHABRILLAT, S.; DEMATTÊ, J.A.M.; TAYLOR, G.R.; HILL J. WHITING M.L. SOMMER, S. Using Imaging Spectroscopy to study soil properties. **Remote Sensing of Environment**, v113:38-55, 2009.
- _____ ; IRONS, J. R.; EPEMA, G. F. Soil Reflectance. In: RENCZ, A. N. **Remote Sensing for the Earth Sciences.** New York: Manual of Remote Sensing, John Wiley & Sons, 111-118, 1999.

BELLINASO, H.; DEMATTÊ, J.A.M.; ROMEIRO, S.A. Soil Spectral Library and its use in Soil Classification. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:861-870, 2010.

BERNARDI, A.C.; RABELLO, L.M.; INAMASU, R.Y.; GREGO, C.R.; ANDRADE, R. G. Variabilidade espacial de parâmetros físico-químicas de solo e biofísicos de superfície em cultivo do sorgo. Campina Grande: **Rev. Bras. Eng. Agrícola**. 18-6:663-630, 2014.

BISHOP, T.F.A.; HORTA, A.; KARUNARATNE, S.B.; Validation of digital soil maps at different spatial supports. **Geoderma**, 241-242, pp. 238-249, 2015.

BONETT, J.P.; TAMAYO, C.J.H.; LÓPEZ, L.R. Espectroscopia de infrarrojo medio para la estimación de algunas propiedades del suelo. **Agronomia Colombiana**, 33-1:99-106, 2015.

BOWERS, S.A.; HANKS, R. J. Reflection of radiant energy from soils. **Soil Science**, Baltimore, v. 100, n. 2, p. 130-138, Feb.,1965.

_____; SMITH, S.J. Spectrophotometric determination of soil water content, **Soil Sci. SOC. Am. Proc.**, 36, 978, 1972.

BRADY, N.C. **Elementos da Natureza e propriedades dos solos**. 3. ed. - Porto Alegre: Bookman, 2013. 686p.

BURAK, D.L.; PASSOS, R.R.; Andrade, F.V. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob cafeeiro Conilon: relação com textura, matéria orgânica e relevo. **Bragantia, Campinas**, v. 71, n. 4, p.538-547, 2012.

CAMARGO, E.C.G., Geoestatística: Fundamentos e Aplicações. In: CAMARA, G.; MEDEIROS, J.S. **Geoprocessamento em Projetos Ambientais**. ed 2. São José dos Campos: INPE, 1998.

CAMARGO, L.A.; JÚNIOR, J.M.; PEREIRA, G.T., HORVAT, R.A. Spatial variability of attributes of an axisol under different relief forms. **Rev Bras Cienc Solo**.,32:2279-2288, 2008.

CAMBULE, A.H., ROSSITER, D.G., STOORVOGEL, J.J., SMALING, E.M.A., Soil organic carbon stocks in the Limpopo National Park, Mozambique: amount, spatial distribution and uncertainty. **Geoderma**, 213, pp. 46-56, 2014.

CAMPOS, M.C.C., SOARES, M.D.R., SANTOS, L.A.C., OLIVEIRA, I.A., AQUINO, E.A., Spatial variability of physical attributes in Alfissol under agroforestry, Humaitá region, Amazonas state, Brazil. **R. Ci. Agrar.**, 56, pp. 149-159, 2013.

CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

CAVALCANTE, E.G.S.; ALVES, M.C.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T. Variabilidade espacial de atributos químicos do solo sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1329-1339, 2007.

CEDDIA, M.B.; VIEIRA, S.R.; Villela, A.L.O.; MOTA, L.S.; ANJOS, L.H.C.; CARVALHO, D.F. Topografia e variabilidade espacial de propriedades físicas do solo. Piracicaba: **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)** vol.66 no.3, 2009.

CEZAR, E.; NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M.; CHICATI, M.L.; OLIVEIRA, R.B. Estimativa de Atributos do Solo por meio de Espectrorradiometria Difusa. **R. Bras. Ci. Solo**, 37:858-868, 2013.

CHANG, C.W.; LAIRD, D.A.; MAUSBACH, M.J. & HURBURGH JUNIOR, C.R. Near-infrared reflectance spectroscopy - principal components regression analyses of soil properties. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 65:480-490, 2001.

CHEN, C.; HU, K.; LI, H.; YUN, A.; LI, B.; Three-Dimensional Mapping of Soil Organic Carbon by Combining Kriging Method with Profile Depth Function. **Journal Pone**, 10(6): e0129038. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129038>, 2015.

CHOI, Y.; PARK, H. Integrating GIS and 2,5D geostatistical methods for geotechnical characterization of soil properties. *Engineering Geology for Tomorrow's Cities. Engineering Geology Special Publications*, Culshaw, M. G., Reeves, H. J., Jefferson, I. & Spink, T. W. (ed.), **Geological Society, London**, 2009.

CPRM. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Diagnóstico do Município de Feira de Santana - Bahia** / Organizado [por] VIEIRA, A, MELO F., LOPES, H.B.V; CAMPOS, J.C.V.; GUIMARÃES J.T., BOMFIM, L.F.C.; COUTO, P.A.A.; BENVENUTI, S.M.P. Salvador:CPRM/PRODEEM, 2005.

_____. **Gnaisse**. Disponível em: <<<http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/gnaisse.htm>>> Acesso em 08/02/18.

_____. **Orto**. Disponível em: << <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/orto.htm>>> Acesso em 20/02/19.

DEMATTÊ, J.A.M.; GENÚ, A.M; FIORIO, P.R.; ORTIZ J.L.; MAZZA, J.A. LEONARDO, H.C.L. Comparação entre mapas de solos obtidos por sensoriamento remoto espectral e pelo método convencional. Brasília: **Pesq. Agropec. Bras.** v.39, n.12, p.1219-1229, dez. 2004.

_____; TERRA, F.S. Spectral pedology: A new perspective on evaluation of soils along pedogenetic alterations. **Geoderma** 217–218 (2014) 190–2014.

_____; BELLINASSO, H.; ARAÚJO, S.R.; RIZZO, R.; SOUZA, A.B. Regionalização espectral de solos tropicais na estimativa dos atributos do solo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 589-598, out-dez, 2016.

DIAS, L.F.; LOBÃO, J.S.B.; MACHADO, R.A.S; Mapeamento do uso e ocupação do solo do município de Feira de Santana-BA. Foz do Iguaçu: **SBSR**, 2013.

DOTTO, A.C.; DALMOLIN, R.S.D.; PEDRON, F.A.; CATEN, A.T.; RUIZ, L.F.C.; Mapeamento digital de atributos: Granulometria e matéria orgânica do solo utilizando a espectroscopia de reflectância difusa. **R. Bras. Ci. Solo**, 38:1663-1671, 2014.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.230 p.

_____. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. Brasília-DF: Embrapa, 2013. 353p.

_____. **Argissolos Vermelhos-Amarelos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_supernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html> Acesso em 20.11.17a

_____. **Chernossolos**. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONTAG01_19_2212200611543.html> Acesso em 20.11.17b.

FALKNER, E.; MORGAN, D. **Aerial Mapping: Methods and Applications**. Lewis Publishers, 2002.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto**. 2005.

FALAGAS, M.E; PITSOUNI, E.I.; MALIETZIS, G. A.; PAPPAS, G. Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. *Scientific Databases, Pros and cons. The FASEB Journal*, Vol. 22 February 2008.

FLORENZANO, T.G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. 2ª edição de imagens de satélite para estudos ambientais. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FRANCESCHINI, M.H.D.; DEMATTÊ, J.A.M; SATO, M.V.; VICENTE, L.E.; GREGO, C.R. Abordagens semiquantitativa e quantitativa na avaliação da textura do solo por espectroscopia de reflectância bidirecional no VIS-NIR-SWIR. Brasília: **Pesq. agropec. bras.** v.48, n.12, p.1569-1582, dez. 2013.

GENÚ, A.M.; DEMATTÊ, J.A.M. Espectrorradiometria de solos e comparação com sensores orbitais. **Bragantia**, Campinas: v. 71, n. 1, p.82-89, 2012.

_____; DEMATTÊ, J.A.M.; NANNI, M.R. Caracterização e comparação do comportamento espectral de atributos do solo obtidos por sensores orbitais (ASTER e TM) e terrestre (IRIS). Guarapuava-PR: **Ambiência**, v. 9 n. 2, 2013.

GONZÁLEZ, I.; NEAMAN, A.; RUBIO, P.; CORTÉS, A.; Spatial distribution of copper and pH in soils affected by intensive industrial activities in Puchuncaví and Quintero, central Chile **J Soil Sci Plant Nutr**, 14, pp. 943-953, 2014.

GREGO, C. R.; OLIVEIRA, R. P. ; VIEIRA, S. R. . Geoestatística aplicada a Agricultura de Precisão. In: Bernardi, Alberto Carlos de Campos; Naime, João de Mendonça; Resende, Álvaro Vilela de.; Bassoi, Luis Henrique; Inamasu, Ricardo Yassushi. (Org.). **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. 2ed.Brasília, DF: Embrapa, v. 1, p. 74-83, 2014.

GUIMARÃES, W.D.; JÚNIOR, J.G.; MARQUES, E.A.G.; SANTOS, N.T.; FERNANDES, R.B.A. Spatial variability of the physical attributes of soil under pasture. Fortaleza-CE: **R. Ciência Agronômica**. v. 47, n. 2, p. 247-255, abr-jun, 2016.

HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks I: Silicate minerals. **Modern Geology**, London, v. 1, p. 283-300, 1970.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2007a.

_____. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009b.

_____. **Manual Técnico de Geologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998c.

JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York: Dover Press, 1994.

JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

KARMANOV, I.I., Study of soils from the spectral composition of reflected radiation, **Sov. Soil Sci.**, 4, 226, 1970.

KLINKERT, S. **A mechanistic approach to soil variability at different scale levels: A case study for the Atlantic Zone of Costa Rica**. Wageningen UR: Thesis Wageningen Universit, 2014.

LANDIM P.M.B. **Sobre Geoestatística e mapas**. *Terrae Didatica*, 2(1):19-33, 2006.

LEITE, L.F.C.; FERREIRA, J.S.; VELOSO, M.E.C.; MOUSINHO, F.E.P.; ROCHA JUNIOR, A.F. Variabilidade espacial das frações da matéria orgânica do solo em área degradada sob recuperação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19 (4), pp. 394-401, 2015.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, G.C.; SILVA, M.L.M.; OLIVEIRA, M.S.; CURI, N.; SILVA, M.A.; OLIVEIRA, A.H. Variabilidade de atributos do solo sob pastagens e mata atlântica na escala de microbacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 18 (5), pp. 517-526, 2014.

LIMA, R.A.; VELHO, L.M.L.S.; FARIA, L.I.L. **Análise bibliométrica da atividade científica da Embrapa Solos (1975-2009)**. Rio de Janeiro-RJ: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento-Embrapa solos, 2010.

LI, Y.M.; MA, J.H.; LIU, D.X. Assessment of heavy metal pollution and potential ecological risks of urban soils in Kaifeng city, China **Environmental Science**, 36 (3), pp. 1037-1044, 2015.

LIPPERT, D.B; BENEDETTI, A.C.P.; NUNES, M.M.C.; KERVALD, L.A. SCHUH, M.S. PEREIRA, R.S. Spectroradiometry of Commercial Wood Veneers in the visible and Near Infrared Spectra. Curitiba, PR: **R. Floresta**. 2014.

MATHERON, G. The Theory of regionalized variables and its applications. **Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique** No 5, 1971. 211p.

MELESSE, A.M.; WENG, Q.; THENKABAIL, P.S.; SENAY, G.B. Remote Sensing Sensors and Applications in Environmental Resources Mapping and Modelling. **Sensors**, 7, 3209-3241, 2007.

MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, M.S. Krigagem e o inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:925-933, 2003.

MELLO, J.M.; BATISTA, J.L.F.; JÚNIOR, P.J.R.; OLIVEIRA, M.S. Adjustment and selection of spatial models of semivariogram envisaging *Eucalyptus grandis* volumetric estimates. **Scientia Forestales**, 69:25-37, 2005.

MEHNERT, K.R. **Migmatites and the origin of granitic rocks**. Amsterdam: Elsevier, 1968. 403p.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012.

MYERS, V.I.; ALLEN, W.A. Electrooptical Remote Sensing Methods as Nondestructive Testing and Measuring Techniques in Agriculture. **Issue 9**, Vol. 7, pp. 1819-1838, 1968.

NANNI, M.R.; DEMATTÊ, J.A.M. Comportamento da Linha do Solo Obtida por Espectrorradiometria Laboratorial para Diferentes Classes De Solo. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:1031-1038, 2006.

NASA. **Hiris High resolution Imaging spectrometer: science opportunities for the 1990s**. Earth Observing System. Volume 2c, 1987.

MUSTAPHA, S.; FAGAM, A.S. Influence of parent material on the contents and distribution of B and Zn in upland soils of Bauchi State, Nigeria. **J. Environ. Sci. Tech.**, 4 (3): 359-362, 2007.

OBUKHOV, A.I.; ORLOV, D.S. Spectral reflectivity of the major soil groups and possibility of using diffuse reflection in soil investigation. **Soviet Soil Science**, Washington, v.1, p.174-184, 1964.

OLIVEIRA, J.B; JACOMINE, P.K.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil. Guia auxiliar para seu reconhecimento**. 2.ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 201p.

OLORUNLANA, F.A. Factor analysis of soil spatial variability in Akoko Region of Ondo State, Nigeria, **Journal of Geography and Regional Planning**, Vol.8(1), pp. 12-15, January 2015.

PINTER, P.; SALDANHA, D.L. **Espectrorradiometria de rochas vulcânicas e suas alterações**. In: Salão de Iniciação Científica UFRGS, 2010, Porto Alegre. Salão de Iniciação Científica - UFRGS. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. v. 1. p. 1-1.

POPPIEL, R.R.; LACERDA, M.P.C.; JUNIOR, M.P.O.; DEMATTÊ, J.A.M.; ROMERO, D.J.; SATO, M.V.; JÚNIOR, L.R.A.; CASSOL, L.F.M. Surface Spectroscopy of Oxisols, Entisols and Inceptisol and Relationships with Selected Soil Properties. **Rev. Bras. Cienc Solo**, 42:e016051, 2018.

PLANET, W.G., Some comments on reflectance measurements of wet soils, **Remote Sens. Environ.**, 1, 127, 1970.

PUCCINI, L.R.S.; GIFFONI, M.G.P; SILVA, L.F.; UTAGAWA, C.Y. Comparative between the PubMed, SciELO and Google Scholar databases with the focus on thematic Medical Education. Cadernos. Volta Redonda: **Cadernos UniFOA**, n. 28, p. 75-82, ago. 2015.

NOWATZKI, J.; ANDRES, R.; KYLLO, K. **Agricultural Remote Sensing Basic**. NDSU, 2007.

RADAMBRASIL. **Levantamento dos Recursos Naturais**. - Folha SD-24-Salvador. Rio de Janeiro. Ministério das Minas e Energia, 1981.

ROMAGNOLI, F.; NANNI, M.R.; JUNIOR, C.A.S.; SILVA, A.A.; CEZAR, E.; GASPAROTTO, A.C. Predição do Carbono Orgânico do Solo Utilizando Espectroscopia Vis-Nir, Plsr e Regressão Stepwise. **Agrarian Academy, Centro Científico Conhecer - Goiânia**, v.1, n.01; p. 251, 2014.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa, 2010.

ROSSITER, D.G. Past, present & future of information technology in pedometrics. **Geoderma** 324: 131–137, 2018.

SANTO, S.M.; SILVA, B.C.M.N.; SANTOS, R.L.; FERNANDES, R.B.; População e meio ambiente no umbral do século XXI na cidade de Feira de Santana (Bahia-Brasil). Barcelona: **Rev. Elet. de Geografia y ciencias sociales**. Vol. 17, n. 425, 2013.

SANCHEZ, R.B.; JÚNIOR, J.M.; SOUZA, Z.M.; PEREIRA, G.T.; FILHO, M.V.M. Variabilidade Espacial de Atributos do Solo e de Fatores de Erosão em Diferentes Pedofomas. Campinas: **Bragantia**, v.68, n.4, p.1095-1103, 2009.

SCHOONOVER, J.E.; CRIM, J.F. An Introduction to Soil Concepts and the Role of Soils in Watershed Management. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, Issue 154, pages 21-47, April, 2015.

SEI. **Bahia em números 2010**. Salvador: SEI, 2011.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S. Lógica Fuzzy no mapeamento de variáveis indicadoras de fertilidade do solo. Chile: **IDESIA**, vol. 27, nº 3, 41-46, 2009.

SILVA, E.F.; ÁVILA, P.F.; SALGUEIRO, A.R.; CANDEIAS, C.; PEREIRA, H.G. Quantitative-spatial assessment of soil contamination in S. Francisco de Assis due to mining activity of the Panasqueira mine (Portugal). **Environmental Science and Pollution Research**, 20, pp. 534-541, 2013.

SHAW, J.N.; WEST, L.T.; BOSCH, D.D.; TRUMAN, C.C.; LEIGH, D.S. Parent material influence on soil distribution and genesis in a Paleudult and Kandiudult complex, southeastern USA. **Catena**, 57:157–174, 2004.

SOUZA, Z. M.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; MOREIRA, L. F. Variabilidade espacial do pH, Ca, Mg e V% do solo em diferentes formas do relevo sob cultivo de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.6, p. 1763-1771, nov-dez, 2004.

STONER, E.R., M.F. BAUMGARDNER, R.A. WEISMILLER, L.L. BIEHL, B.F. ROBINSON Extension of laboratory measured soil spectra to field conditions, **Soil Sci. SOC. Am. J.**, 44, 572, 1980.

SUMFIETH, K., DUTTMANN, R., Prediction of soil property distribution in paddy soil landscapes using terrain data and satellite information as indicators. **Ecological Indicators**, 8 (5), pp. 485-501, 2008.

TAN, J.; ZHOU, J.; GU, Q.; ZHOU, Q.; SU, S.; LIU, X.; LI, Q. Distributions of exchangeable calcium and magnesium in Wenshan tobacco-growing soil and their influencing factors. **Tobacco Science & Technology**, 50(9): 15-22, 2017.

TRANGMAR, B.B., YOST, R.S., UEHARA, G., Applications of geostatistics to spatial studies of soil properties. New York: *Advances in Agronomy*, 38 (1), pp. 45-94, 1985.

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: Roberto Ferreira Novais; Victor Hugo Alvarez V.; Carlos Ernesto G. R. Schaefer. (Org.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. I, p. 1-54. 2000.

_____ ; DECHEN, S.C.F.; SIQUEIRA, G.M.; DUFRANC, G. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos relacionados com o estado de agregação de dois Latossolos cultivados no sistema de semeadura direta. *Bragantia*, v.70, p.185-195, 2011.

VISCARRA-ROSSEL, R.A; WALVOORT, D.J.J.; MCBRATNEY, A.B.; JANIK, L.J. SKJEMSTAD, J.O. Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. Amsterdam: **Geoderma**, 131:59-75, 2006.

ZONTA, J.H.; BRANDÃO, Z.N.; MEDEIROS, J.C.; SANA, R.S.; SOFIATTI, V. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no cerrado do Brasil. Campina Grande: **Rev. Bras. Eng. Agrícola**. vol.18, no.6, 509-602, 2014.

WEI, J.B.; XIAO, D.N.; ZEG, H.; FU, Y.K. Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China. **Environmental Geology** 53(8):1663-1672, 2007.

CAPÍTULO 3

MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ELEMENTOS MAIORES DOS SOLOS DE FEIRA DE SANTANA-BA

3.1 RESUMO

A variabilidade dos elementos do solo vem sendo estudada por técnicas de modelagem ambiental por meio da geoestatística. Nessa perspectiva, esse trabalho tem como objetivo modelar as características químicas naturais dos elementos maiores P, K, Mg, Ca, e Na dos solos de Feira de Santana-BA, em um pixel de 332 metros. Para tal, realizou-se a coleta das amostras de solos na área de estudo e foram realizadas as análises químicas em laboratório. Posteriormente removeu-se os outliers e efetuou-se a estatística descritiva dos atributos, avaliando também o coeficiente de correlação linear de Pearson entre os elementos. Calculou-se o tamanho do pixel e definiu-se o interpolador Krigagem por meio do cálculo dos resíduos. Os semivariogramas experimentais foram ajustados e em seguida produziu-se a Krigagem Ordinária, sendo também gerados mapas 2,5D. Verificou-se que as distribuições dos elementos P, K, Mg, Ca, e Na ocorrem de forma diferenciada no espaço, com distintas áreas de alta ou baixa concentração.

Palavras-Chave: Química de solo; variabilidade espacial; Distribuição de elementos;

3.2 ABSTRACT

The variability of soil elements is being studied by environmental modeling techniques using geostatistics. In this perspective, the objective of this work is to model the most important elements of P, K, Mg, Ca, and the soils of Feira de Santana-BA, at a pixel of 332 meters. For that, soil samples were collected in a study area and generated as chemical analyzes in the laboratory. Subsequently, outliers were removed and a descriptive statistic of the attributes was evaluated, also evaluating the Pearson coefficient of correlation between the elements. The pixel size was calculated and the Kriging interpolator was defined by the calculation of the residues. The experimental semivariograms were adjusted and then produced as an Ordinary Kriging, and 2,5D maps were also generated. It was verified that the distributions of the elements P, K, Mg, Ca, and Na occur differently in space, with distinct areas of high or low concentration.

Keywords: Soil chemistry; spatial variability; Distribution of elements;

3.3 INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre a variabilidade dos atributos dos solos tornou-se uma questão estratégica, tanto do ponto de vista agrícola (com o objetivo de aumentar a eficiência e produtividade), quanto do ponto de vista ambiental (para avaliar os efeitos da antropização e da degradação do solo). Nessa perspectiva, a geoestatística tem desempenhado um papel fundamental na avaliação da variabilidade espacial de elementos nos solos (ORTIZ, 2008; SILVA & LIMA, 2009; MANZIONE & ZIMBACK, 2011; ZONTA et al., 2014; MARTINS & FERNANDES, 2017).

A avaliação da variabilidade pode ser uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de projetos relacionados a métodos de interpolação e metodologias estatísticas para validar a correlação entre as características referentes aos solos (RONQUIM, 2010). O emprego de técnicas de modelagem possibilita a criação de cenários, pelas simulações sobre um conjunto de equações que irão representar um processo (MARTIN et al., 2007). Para a modelagem de atributos do solo deve-se analisar as propriedades químicas, integrá-las e especializá-las no Sistema de Informações Geográficas (BÖNISCH, 2001, ORTIZ et al., 2008).

As técnicas quantitativas de predição espacial por meio de modelagem em levantamentos de solos são comumente provenientes da geoestatística e de métodos estatísticos modernos por meio de estimativas espaciais para caracterização da variabilidade (MCBRATNEY et al., 2000; BÖNISCH et al., 2004). Um dos métodos geoestatísticos para esses estudos é a Krigagem que incorpora em seus ponderadores a dependência espacial entre as amostras. Esta dependência espacial é expressa por meio dos parâmetros do modelo de semivariograma ajustado (ALMEIDA, 2013).

A geoestatística tem-se mostrado de grande utilidade, na ciência do solo, para caracterizar e mapear a variabilidade espacial de suas propriedades. Com ela pode-se fazer um levantamento completo do estado físico e químico da área, e caracterizar sua variabilidade espacial por meio de variogramas (MANZIONE & ZIMBACK, 2011). Logo, esse trabalho tem como objetivo modelar as características químicas naturais dos elementos maiores Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), e Sódio (Na) dos solos de Feira de Santana-BA em um pixel de 332 metros.

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

3.4.1 Área de estudo

A área de estudo é o município de Feira de Santana, localizado no estado da Bahia, um município comercial que está localizado no agreste, área de transição biológica entre a Mata Atlântica e a Caatinga, com presença de fauna e flora dos dois ambientes (DIAS & LOBÃO, 2016). Está em uma área chamada “Polígono das Secas”, com clima variando de seco a subúmido e prolongados períodos de estiagem (CPRM, 2005). O município desempenha importante papel regional, servindo de ligação entre as regiões fisiográficas do litoral úmido e do interior semiárido, e entre as grandes regiões geográficas Nordeste e Sudeste do Brasil (SANTO et al., 2013).

O uso e ocupação da terra é caracterizado em grande parte da área territorial pela agricultura e pecuária, o município também possui, lagos, açudes ou represas principalmente na porção leste. Na porção oeste observa-se a presença da vegetação caatinga, da floresta estacional e secundária. A vegetação natural do município é a caatinga arbórea e arbustiva, que se encontra bastante fragmentada nas partes mais baixas do relevo e bem preservada nas áreas de serras. Já o núcleo urbano está localizado na porção central do município (DIAS & LOBÃO, 2016).

Geomorfologicamente o município está localizado em uma área de Pediplano Sertanejo, na unidade geomorfológica dos Tabuleiros Interioranos, que são características de superfícies descontínuas modeladas e tabulares. Geologicamente, o município tem duas formações: o embasamento cristalino pré-cambriano, composto basicamente por granitos-gnaisses; e outra sedimentar de idade Pliocênica composta por conglomerados, areias e argila (SANTOS & ANDRADE, 2008). Nesse sentido, predomina a oeste do município o Gnaisse Granulítico e a leste rochas como arenito, arenito conglomerado, Monzogranito, Quartzito, Sienogranito, Anfibolito e Migmatito.

De acordo com o IBGE (2018), predomina no município seis classes de solos (Figura 15), ao leste, destaca-se os Argissolos vermelhos-amarelos e Argissolos Amarelos juntamente com uma faixa de Planossolos. Ao norte pequenas faixas de Latossolos. A oeste Planossolos, Neossolos Litólicos e Chernossolos.

3.4.2 Coleta de amostras

Para a coleta de amostras foi utilizado o trado holandês em aço inox com perfuração de 25 cm. Coletou-se amostras em várias partes do município e preferindo-se os lugares com menores intervenções humanas. A marcação dos pontos de coleta foi realizada com o GPS convencional de precisão de 4 metros. Foram coletados 74 pontos, com amostragem simples de uma amostra por ponto. Já distância média entre os pontos foi de 1500 metros. Posteriormente os pontos foram plotados no Sistema de Informações Geográficas (Figura 15).

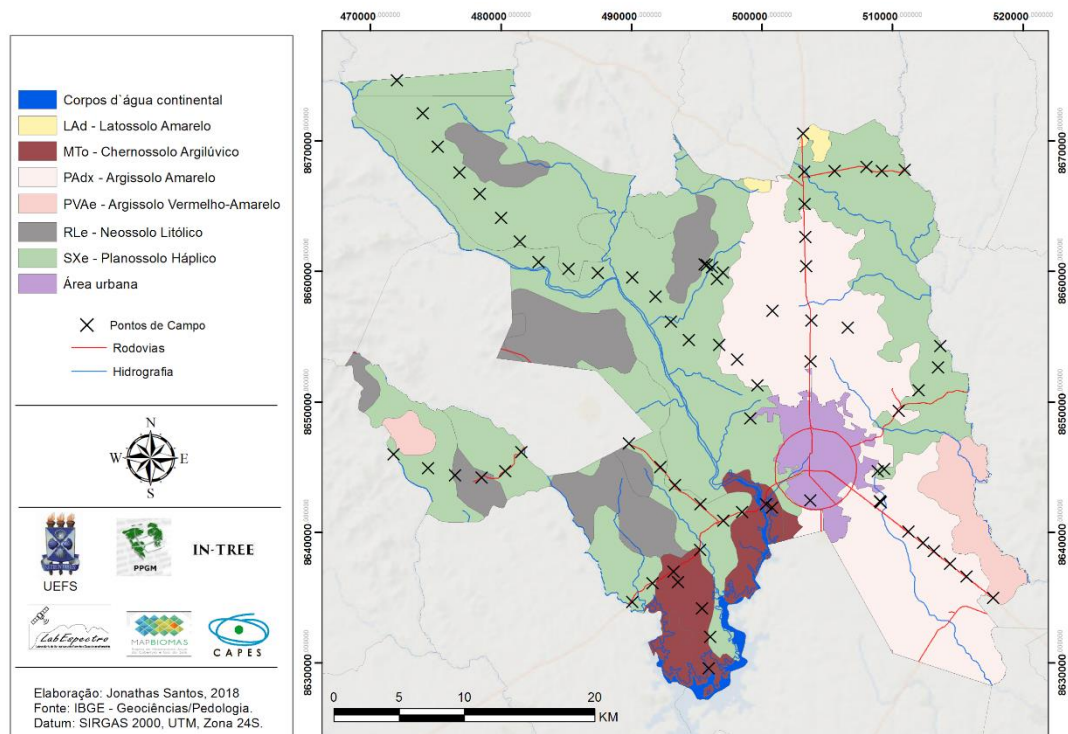


Figura 15. Pontos amostrais dos solos de Feira de Santana-BA.

3.4.3 Análise química de solos com verificação de outliers e estatística descritiva dos atributos

Parte das amostras coletadas foram levadas para o laboratório de química de solo da Embrapa de Cruz das Almas-BA e a outra parte para o laboratório de química da Embrapa em Petrolina-PB. Foram realizadas análises químicas, sendo determinados a concentração total dos elementos maiores: Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e Sódio (Na). O método utilizado para a determinação do P, K, e Na foi com o extrator Mehlich 1 com determinação por absorção atômica. Já para a extração do Mg e Ca utilizou-se o KCl 1M também por absorção atômica (EMBRAPA, 2011).

Com os resultados, observou-se a existência de outliers. Esses são valores extremos que podem surgir por qualquer motivo, incluindo aqueles através de medições não laboratoriais e processos relacionados ao procedimento (PARRINELLO et al, 2016). Os outliers foram removidos utilizando o método de Chauvenet, que leva em consideração a média e o desvio padrão das amostras para a determinação dos valores aberrantes (MAPLES et al, 2018).

Em seguida, realizou-se um estudo exploratório nos resultados das análises, sendo determinadas as medidas de localização (mínimo, máximo, média, mediana e média geométrica), variabilidade (Desvio Padrão, coeficiente de variação, Variação Interquartil), de tendência central (assimetria e curtose), para a avaliação da normalidade dos atributos analisados de acordo com Carneiro et al., (2016).

3.4.4 Cálculo do tamanho do pixel e definição do interpolador

O tamanho do pixel é uma etapa fundamental para a definição da resolução espacial em um mapa quando se leva em consideração o número de pontos amostrados (SILVA, 2018). A equação para a cálculo da resolução espacial nesse caso, pode ser definida como:

$$\rho = 0,0791 \times \sqrt{\frac{A}{N}}$$

Onde o “A” seria o tamanho da área que está sendo estudada e o “N” o número das amostras que foram coletadas (SILVA, 2018). Nesse sentido, determinou-se o tamanho do pixel da área de estudo, levando em consideração o número de amostras coletadas e o tamanho da área.

Definiu-se o tamanho do pixel para a modelagem de elementos maiores observando o tamanho da área de estudo que corresponde a 1303001315 metros e número de amostras coletadas que foram 74. Nesse sentido e de acordo com Silva (2018), o cálculo do tamanho do pixel neste caso, seria definido como:

$$\rho = 0,0791 \times \sqrt{\frac{1303001315}{74}} = 332$$

Logo, o tamanho do pixel para a representação da realidade proposta foi de 332 metros, sendo esta a expressão escalar de distribuição de elementos maiores nos solos de Feira de Santana proposta neste trabalho.

Para a definição do interpolador, foi levando em consideração o cálculo dos resíduos. Nessa perspectiva, avaliou-se os interpoladores Mínima Curvatura, o Inverso do Quadrado da Distância e a Krigagem, observando o interpolador que possuía o menor número de resíduos nos resultados das análises. Para o cálculo dos resíduos utilizou-se o programa Sufer 9 e o Excel.

O cálculo dos resíduos, revelou que o melhor interpolador seria a Krigagem, apresentando na maioria dos casos um menor valor de resíduos em comparação com Inverso do Quadrado da Distância (IQD) e a Mínima Curvatura (MIC) (Tabela 1). Entretanto, no caso do Magnésio o interpolador que apresentou o menor valor de resíduos foi o MIC com 0.49 e para o Sódio foi o IQD com um valor de 0.48, valor aproximado da Krigagem com 0.49. Para o Fósforo (P) o melhor interpolador seria a Krigagem com um valor de -0.25 de resíduos, para o Potássio (K) também a Krigagem com 0.26, e no caso do Ca também a Krigagem com um valor de 0.44.

Tabela 1. Cálculo dos resíduos entre os interpoladores

	P	K	Ca	Mg	Na
IQD¹	-0.42995	-0.62544	0.483928	0.910218	0.483632
MIC²	-0.44336	-1.09715	0.665236	0.492241	0.549366
KRIG³	-0.25276	0.267033	0.449994	0.937942	0.493713

¹Inverso do Quadrado da Distância; ²Mínima Curvatura; ³Krigagem

3.4.5 Ajuste dos semivariogramas experimentais

Os semivariogramas experimentais das propriedades químicas do solo foram ajustados sendo determinadas as estruturas de correlação da continuidade espacial. Para o ajuste dos semivariogramas definiu-se os modelos, estabeleceu-se uma direção e a tolerância para cada atributo, sendo também observados o efeito pepita, contribuição e o alcance. Calculou-se os semivariogramas experimentais no programa geostatístico Sufer 9 por meio da expressão (JOURNAL, 1989):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2$$

Onde $\gamma(h)$ é a semivariância estimada entre pares de pontos, $N(h)$ é o número de pares de valores medidos $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ medidos em locais afastados entre si da distância h , (MELLO et al., 2003; MELLO et al., 2005). Os parâmetros dos semivariogramas experimentais estão descritos na tabela 2. Observa-se que a direção de todos os foi Omnidirecional, assim como o modelo linear. O maior efeito pepita foi o do fósforo e o menor o do sódio, a maior contribuição o do Magnésio e a menor do sódio, e em todos os casos elaborou-se um semivariograma com um alcance de 21000.

Tabela 2. Parâmetros dos modelos de semivariogramas experimentais

	Direção	Modelo	Efeito pepita	Contribuição	Alcance
<i>Ca (cmol_c/dm³)</i>	Omnidirecional	Linear	0,12	0,22	21000
<i>K (cmol_c/dm³)</i>	“”	“”	0,06	0,10	“”
<i>Mg (cmol_c/dm³)</i>	“”	“”	1,22	2,20	“”
<i>Na (cmol_c/dm³)</i>	“”	“”	0,05	0,09	“”
<i>P(mg/dm³)</i>	“”	“”	41,22	0,90	“”

3.4.6 Espacialização dos resultados por meio da Krigagem Ordinária e critérios para a classificação dos elementos maiores

A espacialização individual de cada uma das propriedades químicas avaliadas em laboratório foi realizada com o procedimento de interpolação geoestatística de Krigagem Ordinária (KO). Esse método observa a estimativa de uma variável em local não amostrado (v^*) é obtida a partir da combinação linear dos n dados amostrados (v_i) disponíveis na vizinhança do ponto analisado, de acordo com a expressão geral (BAGNARA et al., 2012):

$$v^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot v_i$$

Onde λ_i ($i = 1, 2, \dots, n$) são os pesos atribuídos a cada valor amostral, o v_i são os dados experimentais e n o número de elementos amostrais (BAGNARA et al., 2012).

Os critérios utilizados para a classificação dos elementos maiores em baixa, média, média alta e alta foram os da Embrapa (2015). Nesse sentido, observou-se os padrões utilizados para a classificação (Tabela 3).

Tabela 3. Padrões das propriedades dos elementos maiores

	Baixa	Média	Média-Alta	Alta
P (mg/dm^3)	0 a 6	7 a 13	14 a 20	>20
K ($cmolC/dm^3$)	0 a 0,07	0,08 a 15	0,15 a 0,23	>0,23
Ca ($cmolC/dm^3$)	0 a 2,0	2,0 a 4,0	-	>4,0
Mg ($cmolC/dm^3$)	0 a 0,4	0,5 a 1,0	-	>1,0
Na ($cmolC/dm^3$)	<6	6 a 15	-	>15

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva da química de solo (Tabela 4) demonstra em primeiro lugar as medidas de localização, logo depois a variabilidade e as medidas de tendência central. O menor valor mínimo é o do Sódio (Na) com 0.03 e o maior o do Fósforo (P) com 414. A maior média também foi do P com 55.4 e a menor do Na com 0.17, bem como os valores de mediana 28.94 e 0.17, respectivamente.

Nesse sentido, o P possui uma maior distribuição de valores e o Na uma menor distribuição em relação aos outros elementos. Esse fato também é verificado na mediana,

onde o P possui valor de 28.94 e o Na 0.17, na média geométrica com valores de 19.39 e 0.19, respectivamente. O maior Desvio Padrão (SD) também é do P com valor de 77.42 e os menores do Na 0.24 e do potássio (K) 0.25.

O Intervalo Interquartil (IQR) revela que o maior valor foi do P com 65 e o menor o Na com 0.2. O IQR é uma medida de variabilidade, com base na divisão de um conjunto de dados em quartis. Estes quartis dividem um rank ordenado conjunto de dados em quatro partes iguais. O intervalo interquartil é igual a $Q3 - Q1$ (NANTHAKUMAR & VIJAYALAKSHMI, 2016).

O menor Coeficiente de Variação foi a do Cálcio, com um valor de 0.62, já o maior Coeficiente de Variação foi a do fósforo com 1.39. O Coeficiente de Variação (CV) seria uma medida de dispersão criada para estimar a precisão de experimentos e representa o desvio-padrão expresso como porcentagem da média, quanto menor o CV maior homogeneidade entre os dados (MOHALLEM et al., 2008).

O CV obtido pela razão entre desvio-padrão e a média dos dados, é uma importante ferramenta para análise da dispersão dos dados por ser uma medida relativa ao valor médio da série (JUNIOR et al., 2010). Nesse sentido, é observável que o Fósforo possui maior variabilidade no espaço analisado sendo o mais heterogêneo. Em contrapartida o Cálcio uma menor variabilidade apresentando uma maior homogeneidade entre os dados avaliados. Esse fato se deve a amostragem.

Os maiores valores do coeficiente de assimetria (Cs) também foi do P com valor de 2.49 e o menor o do cálcio (Ca) com 0.77. Os maiores valores de curtose foi a do fósforo com 9.99 e a do Potássio com 6.93, já os menores valores foram as do Cálcio e Magnésio com 2.99 e 5.11. Observa-se que os valores teóricos de curtose próximo de 3 indica a normalidade dos dados (CARVALHO et al., 2002).

Tabela 4. Estatística descritiva de elementos maiores dos solos do município de Feira de Santana-BA.

		Ca (cmolC/dm ³)	K (cmolC/dm ³)	Mg (cmolC/dm ³)	Na (cmolC/dm ³)	P (mg/dm ³)
<i>Medidas de localização</i>	Mínimo	0.38	0.05	0.18	0.03	0.71
	Máximo	10.64	1.4	6.69	1.1	414
	Média	3.79	0.31	1.81	0.27	55.4
	Mediana	3.22	0.24	1.5	0.17	28.94
	Média Geo	3.02	0.24	1.41	0.19	19.39
	SD¹	2.37	0.25	1.26	0.24	77.42
<i>Variabilidade</i>	IQR²	2.96	0.19	1.71	0.2	65
	CV³	0.62	0.81	0.69	0.91	1.39
<i>Medidas de tendência</i>	Cs⁴	0.77	1.92	1.30	1.78	2.49
	Ck⁵	2.99	6.93	5.11	5.84	9.99

¹Desvio Padrão; ²Varição Interquartil; ³Coeficiente de Variação³; Coeficiente de Assimetria⁴ Coeficiente de Curtose⁵

Os semivariogramas experimentais podem ser observados na figura 16. É verificável que em todos os casos o melhor modelo foi o linear, o menor efeito pepita foi do Potássio com um valor de 0,6 e o maior a do Magnésio com 1,22. O alcance em todos os casos se aproximam de 21000.

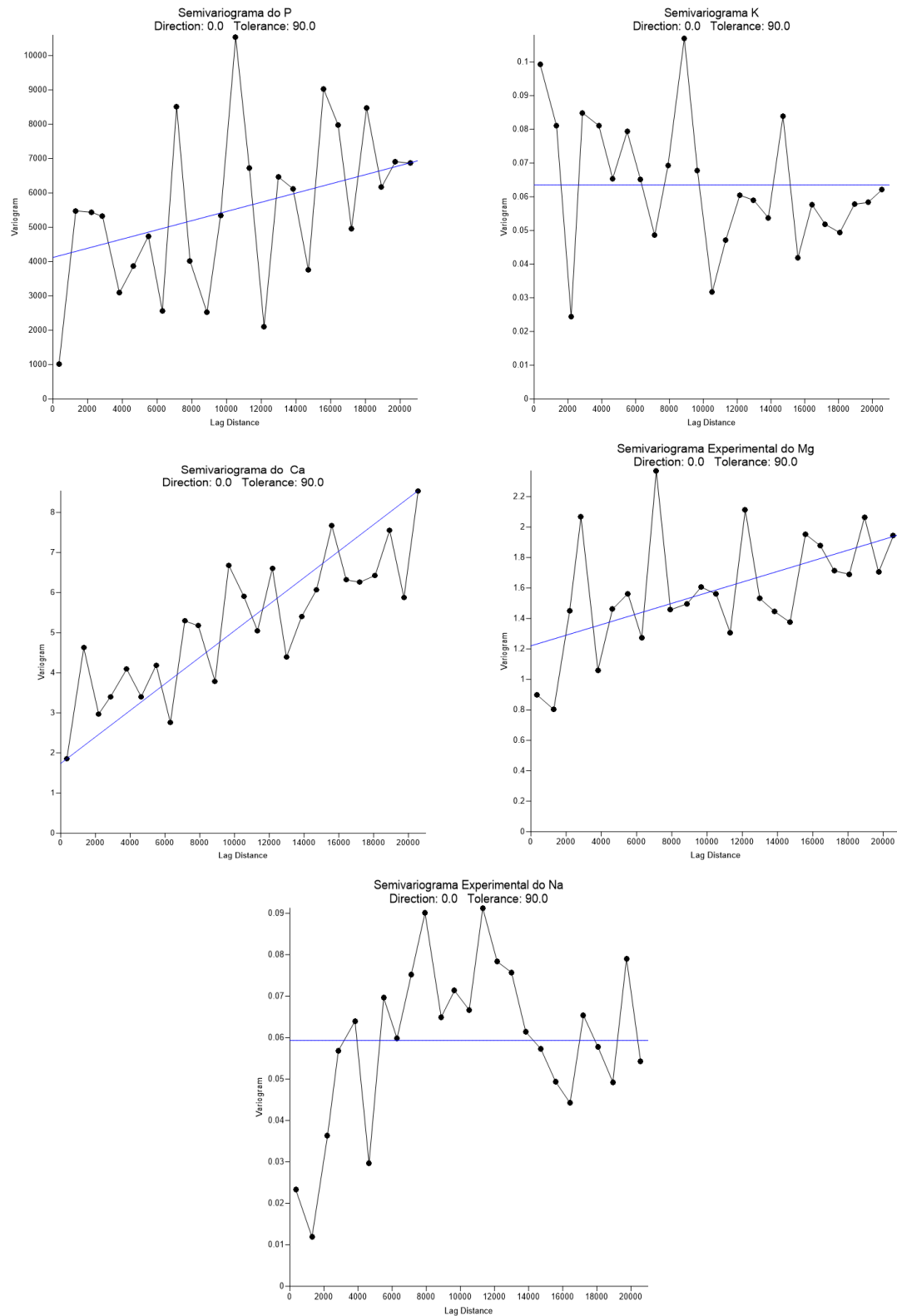


Figura 16. Semivariogramas experimentais dos elementos maiores dos solos de Feira de Santana-BA

O mapa da distribuição espacial do Fósforo nos solos de Feira de Santana (Figura 17), revela uma baixa distribuição do elemento químico nos solos da porção leste e média na em

partes da porção oeste do município. As áreas de alta distribuição estão localizadas sobretudo na porção oeste, sudeste e norte do município. Tal fato fica evidenciado no modelo 2,5D (Figura 18).

O fósforo é um elemento necessário a qualquer forma de vida, ocorre em todos os ecossistemas. Entretanto, a quantidade de fósforo biodisponível presente no solo é muito variável e está dependente do equilíbrio que se estabelece entre o P sorvido na fase sólida e o P em solução na fase líquida do solo (MONTEIRO & TORRENT, 2010). Nesse contexto, em solos jovens, os fosfatos de cálcio são os principais fornecedores de fósforo aos organismos vivos. Por outro lado, em solos altamente intemperizados, a biociclagem dos fosfatos orgânicos assume grande importância na manutenção da biodisponibilidade (SANTOS et al., 2008).

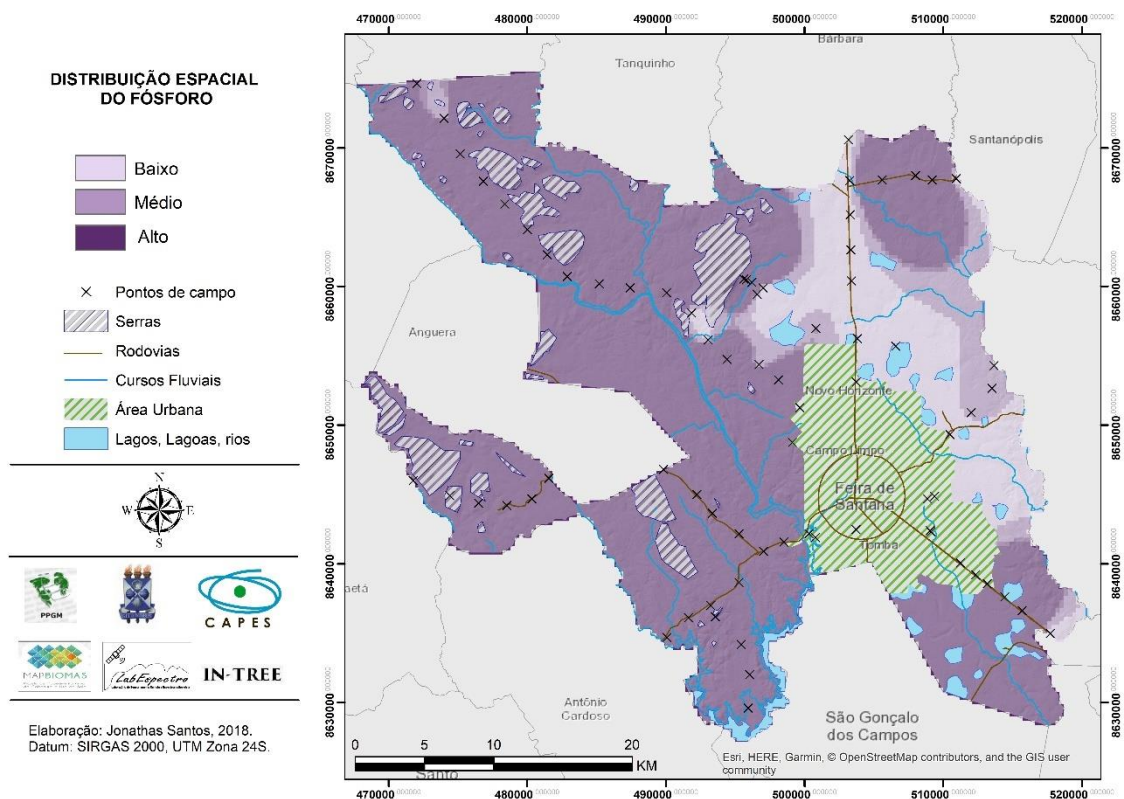


Figura 17. Modelo de distribuição espacial da concentração de fósforo em mg.kg-1

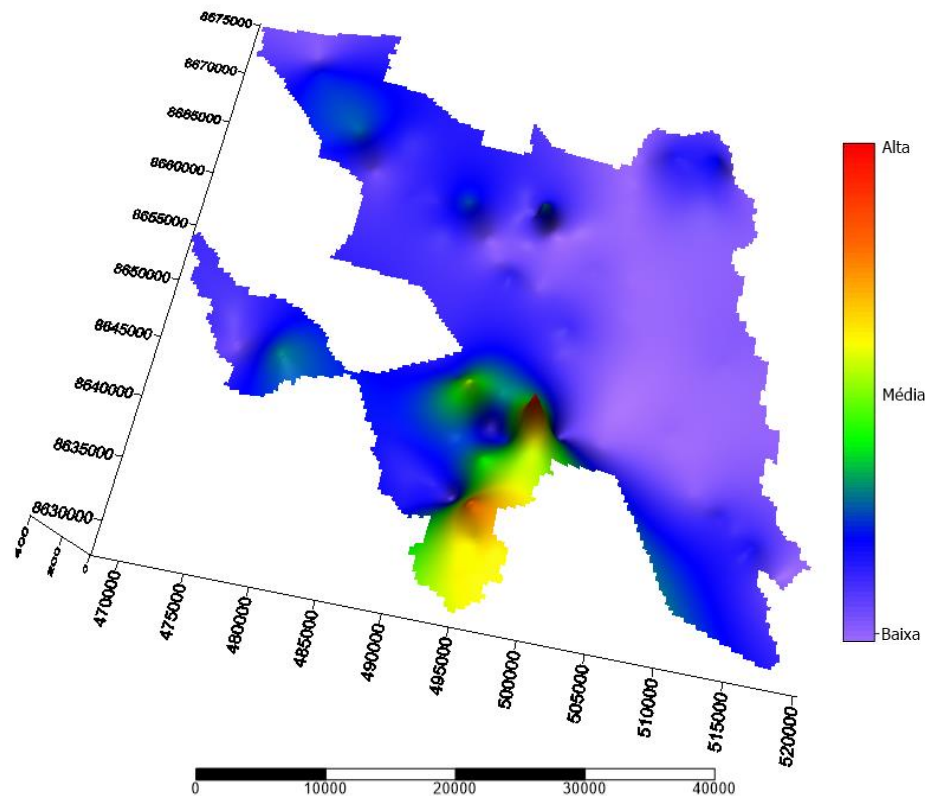


Figura 18. Modelo 2,5D da distribuição espacial do fósforo em Feira de Santana-BA

A distribuição espacial do potássio (Figura 19), revela que a maior quantidade do elemento químico está distribuída na porção norte, oeste e sudoeste do município. As áreas com valores mais baixos de distribuição estão concentradas sobretudo na porção leste e em algumas áreas do sudeste. Já as áreas de média e média-alta distribuição estão localizadas principalmente a leste do município e algumas áreas do sudoeste. Tal fato, também pode ser verificado no mapa 2,5D de distribuição do Potássio (Figura 20).

O potássio é o segundo nutriente mineral requerido em maior quantidade pelas espécies vegetais, depois do nitrogênio (ROSOLEM et al., 2006). É possível que a disponibilidade desse elemento químico esteja mais intimamente relacionada com a composição mineralógica do solo (MELO et al., 2004).

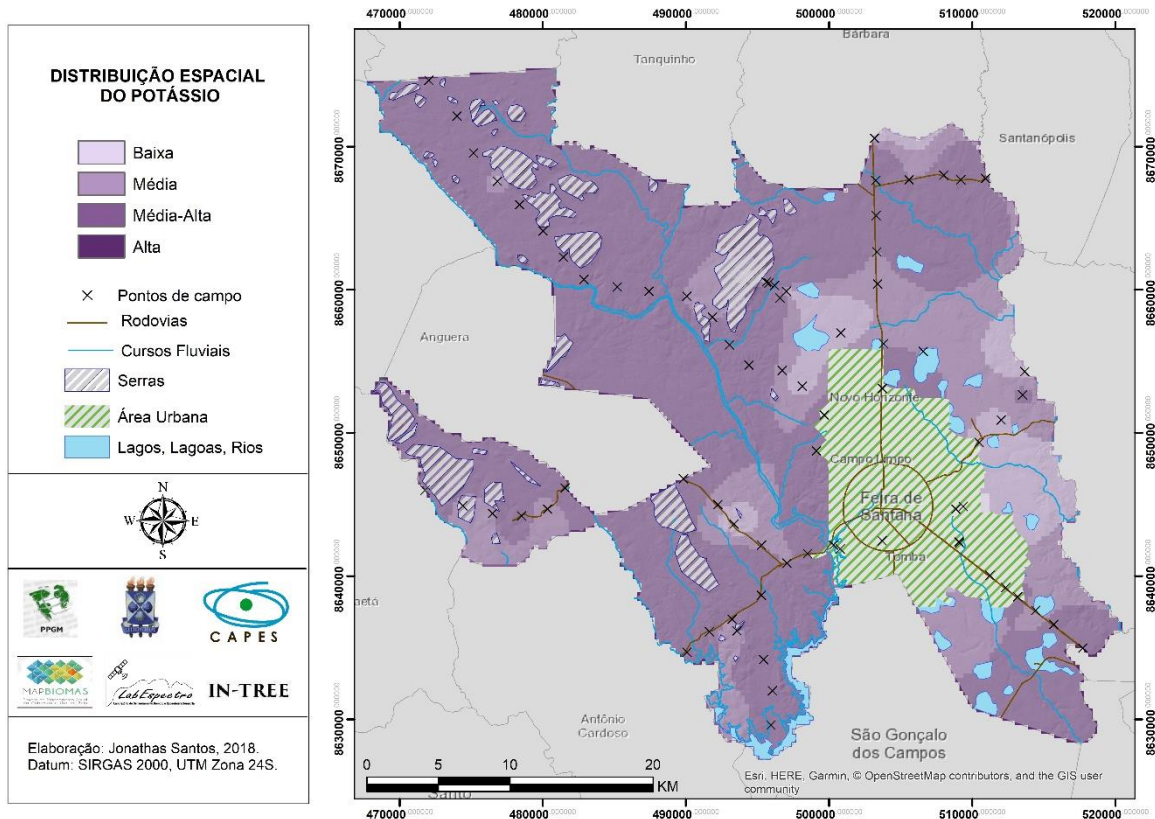


Figura 19. Modelo de distribuição espacial do Potássio

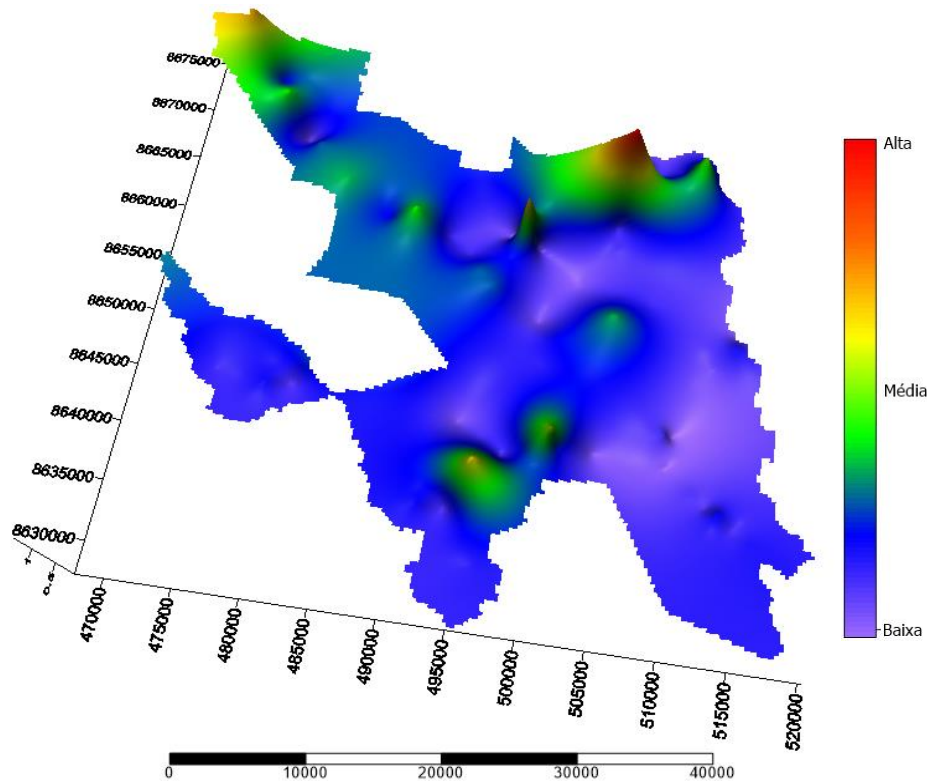


Figura 20. Modelo 2,5D do potássio em Feira de Santana-Ba

O cálcio está distribuído nos solos de Feira de Santana em um padrão de baixa concentração na porção leste em contraposição a porção oeste (Figura 21), fato também verificado no modelo 2,5D (Figura 22). As áreas com concentração baixa estendem-se sobretudo na porção leste do município, as de média estão localizados principalmente na porção oeste com concentrações também no sudeste e norte, já as áreas de alta concentração estão ao oeste do município, sobretudo na porção sudoeste.

O cálcio é nutriente essencial para o crescimento das plantas, a sua falta no solo aliada a outros fatores como o aumento da acidez e excesso de alumínio tem como consequência um franco crescimento do sistema radicular das espécies vegetais, o que pode acarretar em uma baixa captação de nutrientes (MARIA et al., 1993).

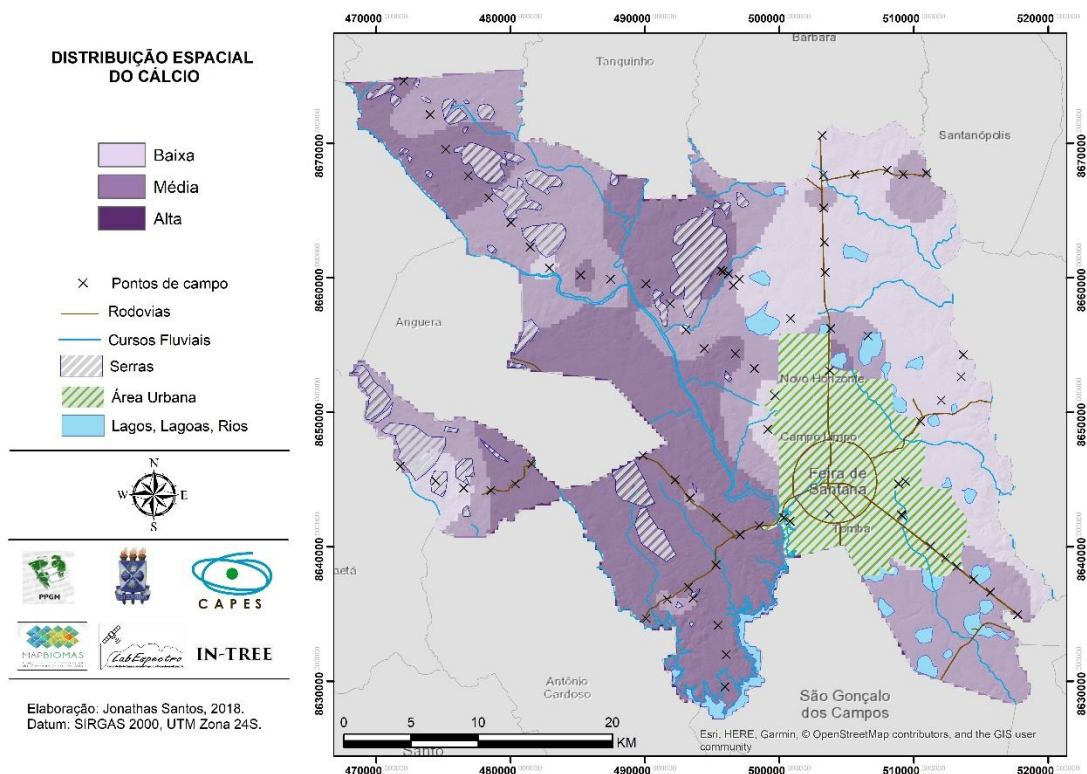


Figura 21. Modelo de distribuição espacial do Cálcio

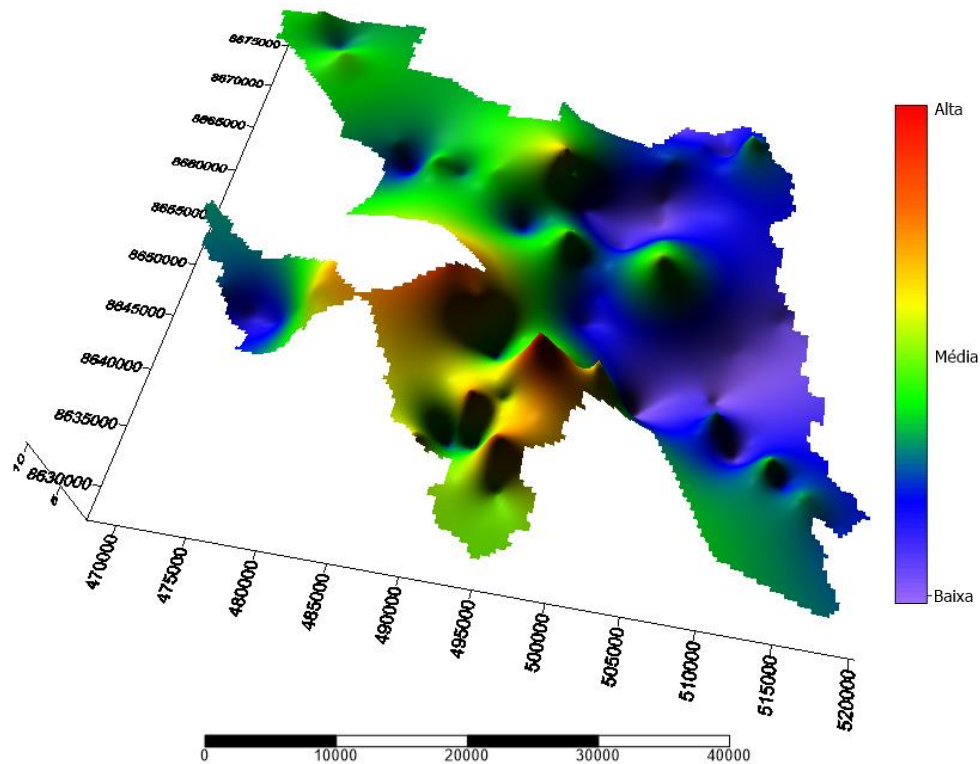


Figura 22. Modelo 2,5D do Cálcio em Feira de Santana-BA

O Magnésio possui diferentes padrões de distribuição no município (Figura 23), fato também verificado no modelo 2,5D (Figura 24). Apresenta uma distribuição sobretudo média na porção leste e em uma pequena parte norte do município. As áreas de alta concentração estão localizados praticamente em todas as quatro regiões com menos intensidade na porção leste.

Nessa perspectiva, o material de origem do solo e a sua taxa de intemperismo são certamente os condicionadores do estado do magnésio nos solos, mas existem outros fatores que colaboram o balanço do magnésio, como as entradas através de precipitação e fertilização e as saídas através da exportação das culturas, podas, lixiviação e erosão (PORTELA & PIRES, 1995).

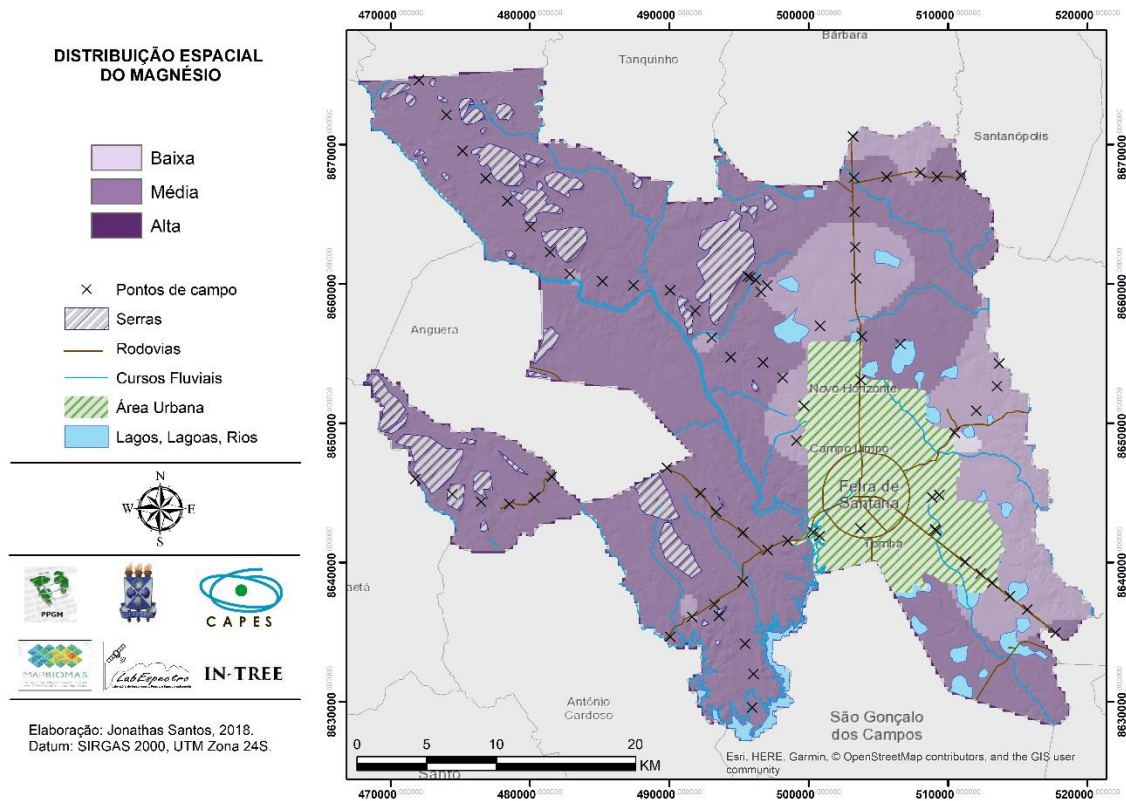


Figura 23. Modelo de distribuição espacial do Magnésio

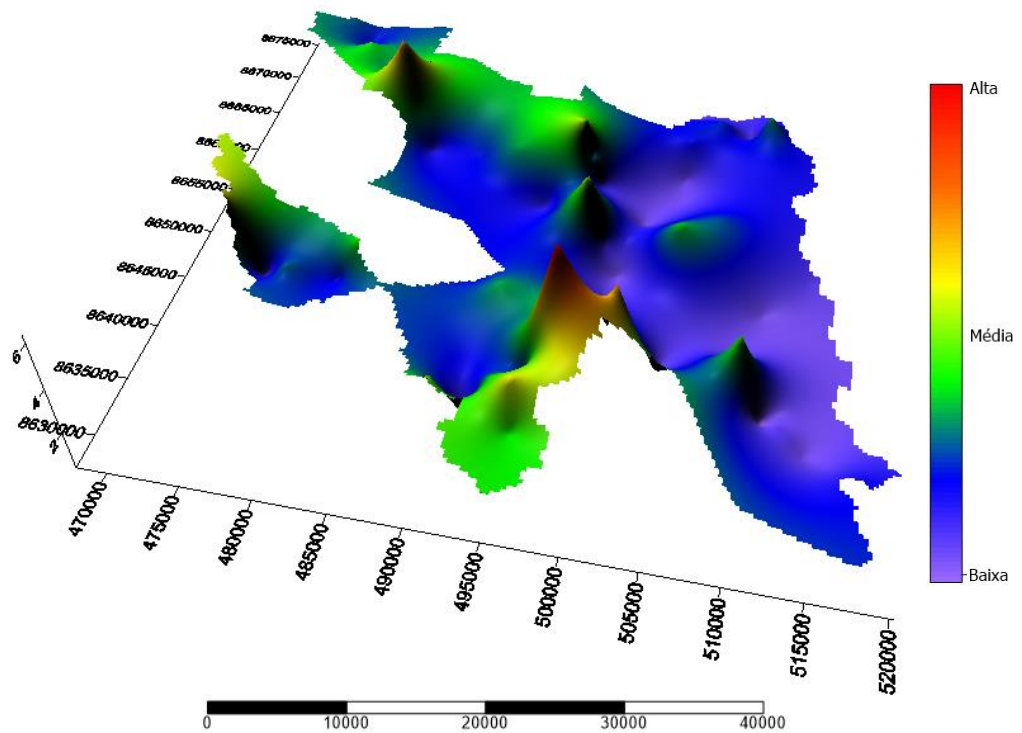


Figura 24. Modelo 2,5D do Magnésio em Feira de Santana-BA

O Sódio (Na^+) possui sobretudo uma baixa distribuição nos solos de Feira de Santana em todas as quatro regiões (Figuras 25 e 26). As áreas de média distribuição estão localizadas a noroeste do município e em uma pequena parte do leste e sudoeste. Em contrapartida, as áreas de alta concentração de sódio não foram registradas dentro dos parâmetros da Embrapa para alta concentração.

O excesso de Na^+ pode causar o processo de salinização dos solos e limitar o rendimento das culturas (LIMA et al., 2008). Entretanto, sabe-se que o Na^+ , têm presença em solos e águas e são amplamente absorvidos e utilizados pelas plantas, mas não são considerados como nutrientes para as plantas porque não atendem à definição estrita de "essencialidade" (SUBBARAO et al., 2003).

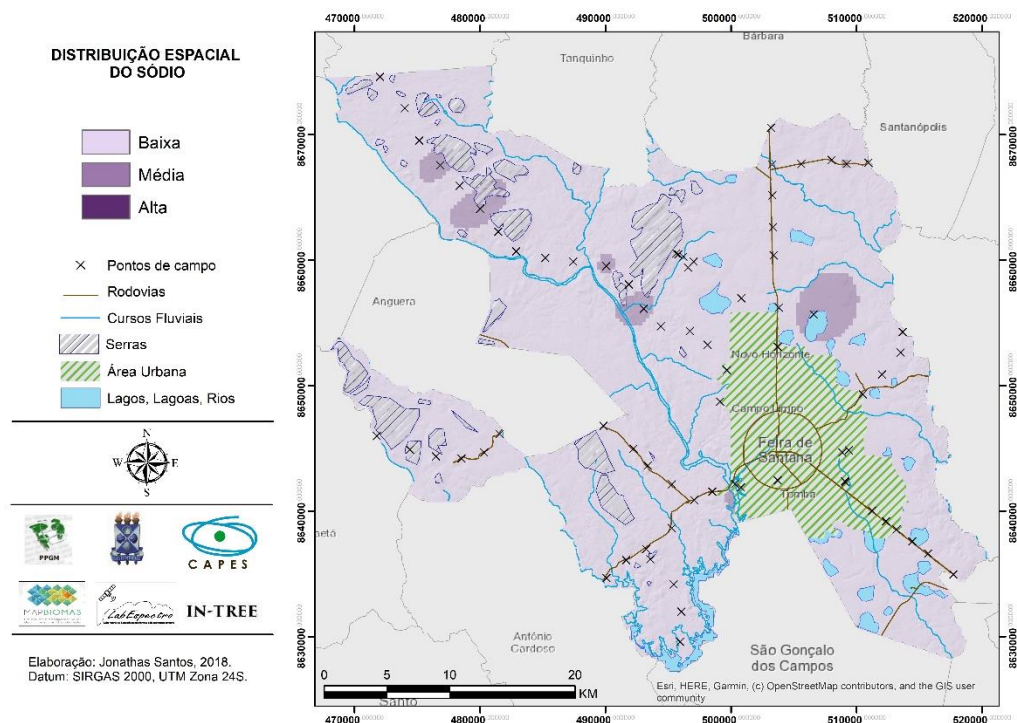


Figura 25. Modelo de distribuição do Sódio

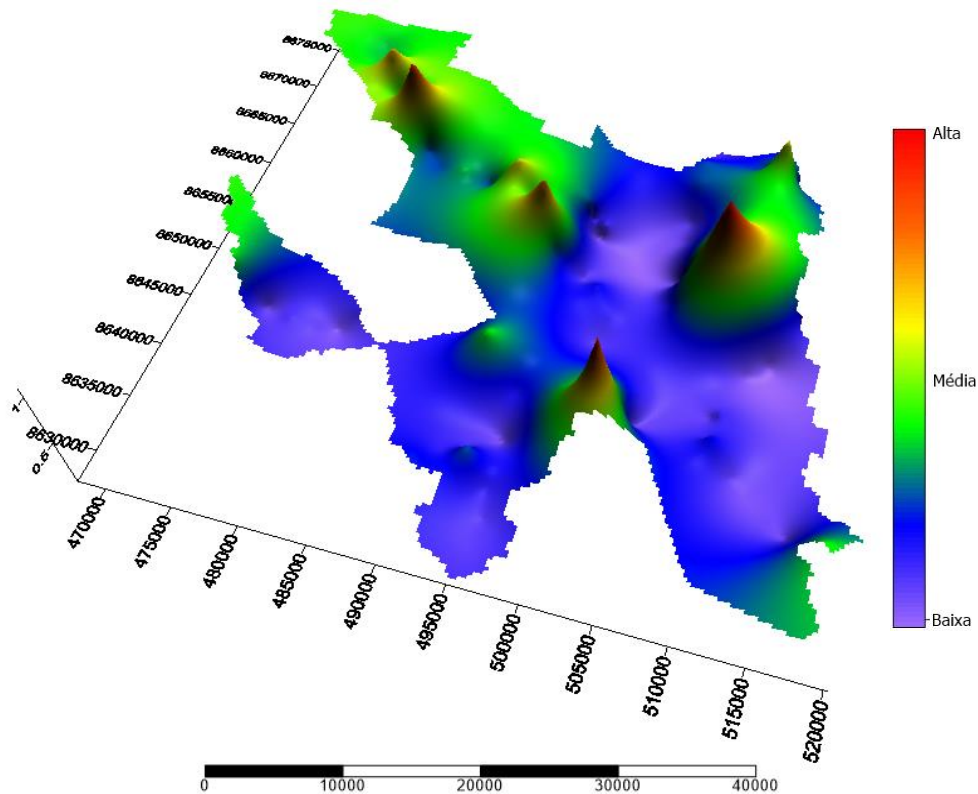


Figura 26. Modelo 2,5D do Sódio em Feira de Santana

3.6 CONCLUSÃO

A avaliação de elementos maiores nos solos de Feira de Santana-Ba, utilizando técnicas geoestatísticas para representar uma realidade de um pixel de 332 metros, revela que as distribuições dos elementos P, K, Mg, Ca, e Na. Entretanto, para uma melhor resolução espacial e uma maior representatividade da variabilidade dos elementos maiores nos solos seria necessário um maior número de amostras.

Observa-se que os fatores antrópicos do município (com adubações, calagens, entre outros) podem ser os principais condicionadores da variabilidade espacial dos elementos maiores dos solos de Feira de Santana, tendo uma influência maior que os fatores naturais do município, visto os valores altos encontrados na maioria das amostras.

3.7 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.F.F. **Uso da Krigagem indicativa na seleção de áreas propícias ao cultivo do café em consorciação ou rotação com outras culturas**. Viçosa: UFV, 2013.
- BAGNARA, D.; PRIETTO, P.D.M.; TIMBOLA, R.S.; Aplicação da krigagem ordinária na modelagem do pH e da dureza da água subterrânea na área central de Passo Fundo – RS. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.20, p.15-22, Novembro, 2012.
- BÖNISCH, S. **Geoprocessamento ambiental com tratamento de incerteza: o caso do zoneamento pedoclimático para a soja no Estado de Santa Catarina**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001. 189p.
- _____. ASSAD, M.L.L.; MONTEIRO, A.M.V.; CÂMARA, G. Representação e propagação de incertezas em dados de solo. II – Atributos numéricos. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:33-47, 2004.
- CARNEIRO, J.S.S.; FARIA, A.J.G.; FIDELIS, R.R.; NETO, S.P.S.; SANTOS, A.C.; SILVA, R.R. Diagnóstico da Variabilidade Espacial e Manejo da Fertilidade do Solo no Cerrado. Curitiba: **R. Scientia Agraria**, v.17, n.3, p.38-49, 2016.
- CARVALHO, J.R.P.; SILVEIRA, P.M.; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.
- CPRM. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Diagnóstico do Município de Feira de Santana - Bahia** / Organizado [por] VIEIRA, A, MELO F., LOPES, H.B.V; CAMPOS, J.C.V.; GUIMARÃES J.T., BOMFIM, L.F.C.; COUTO, P.A.A.; BENVENUTI, S.M.P. Salvador:CPRM/PRODEEM, 2005.
- COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum. 1988.
- DIAS, L.F.; LOBÃO, J.S.B.; **Um olhar sobre o município de Feira de Santana: a Geografia e o Geoprocessamento num contexto socioambiental**. Feira de Santana: UEFS Editora, 2016.
- EMBRAPA. Comunicado técnico: Diagnóstico da Fertilidade do Solo em Áreas de Sequeiro de Agricultores Familiares em Municípios do Sertão Inhamus, Ceará. Sobral-CE: Embrapa, 2015.
- IBGE. **Geociências: Informações ambientais, Pedologia, Escala 250 mil**. Disponível em: << https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>> Acesso em 30/11/18.
- JOURNEL, A.G. **Fundamentals of geostatistics in five lessons**. Washington, American Geophysical Union, 1989. 40p.

JUNIOR, J.C.O.; SOUZA, L.C.P.; MELO, V.F. Variabilidade de Atributos Físicos e Químicos de Solos da Formação Guabirotuba em diferentes Unidades de Amostragem. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:1491-1502, 2010.

LIMA, F.S.; BARROS, M.F.C.; FERRAZ, F.B.; JUNIOR, S.S.; OLIVEIRA, L.B. Absorção de Nutrientes e Sódio pelo Caupi em Solos Salino-Sódicos Corrigidos com Gesso. **Revista Caatinga**, vol. 21, núm. 5, diciembre, pp. 95-101, 2008.

LIRA, S.A.; NETO, A.C. Coeficientes de correlação para variáveis ordinárias e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. **RECIE**: Uberlândia, v. 15, n. 1/2, p. 45-53, jan.-dez. 2006.

MAPLES, M.P.; REICHART, D.E.; BERGER, T.A.; TROTTER, A.S.; MARTIN, J.R.; PAGGEN, M.L.; JOYNER, R.E.; SALEMI, C.P.; DUTTON, D.A. Robust Chauvenet Outlier Rejection. **Astrophysical Journal Supplement Series**, Vol.238(1), p.2, 2018.

MARIA, I.C.; ROSSERTO, R.; AMBROSANO, E.J.; CASTRO, O.M. Efeito da adição de diferentes fontes de Cálcio no movimento de cátions em colunas de solos. Piracicaba: **Sci. Agric.** 50:87-98, 1993.

MARTINS, J.C.; FERNANDES, R. Processos de degradação do solo - medidas de prevenção. **Dossier Técnico Vida Rural**, maio, 2017.

MARTIN, T.N.; STORCK, L.; NETO, D.D. Simulação estocástica da radiação fotossinteticamente ativa e da temperatura do ar por diferentes métodos. Brasília, **Pesq. agropec. bras.** v.42, n.9, p.1211-1219, 2007.

MANZIONE, R.L.; ZIMBACK, C.R.L.; Análise espacial multivariada aplicada a avaliação da fertilidade do solo. Viçosa-MG: **Eng. na Agricul. REVENG**, vol. 19, nº3, 227-235, 2011.

McBRATNEY, A.B.; ODEH, I.O.A; BISHOP, T.F.A.; DUNBAR, M.S.; SHATAR, T.M. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma**, 97:293-327, 2000.

MELO, G.W.; MEURER, E. J.; PINTO, L.F.S. Fontes de Potássio em Solos Distroférricos Cauliníticos Originados De Basalto No Rio Grande Do Sul. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:597-603, 2004.

MELLO, C.R.; LIMA, J.M.; SILVA, A.M.; MELLO, J.M.; OLIVEIRA, M.S. Krigagem e o inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **R. Bras. Ci. Solo**, 27:925-933, 2003.

MELLO, J.M.; BATISTA, J.L.F.; JÚNIOR, P.J.R.; OLIVEIRA, M.S. Adjustment and selection of spatial models of semivariogram envisaging *Eucalyptus grandis* volumetric estimates. **Scientia Forestales**, 69:25-37, 2005.

MOHALLEM, D.F.; TAVARES, M.; SILVA, P.L.; GUIMARÃES, E.C.; FREITAS, R.F. Avaliação do coeficiente de variação como medida da precisão em experimentos com frangos de corte. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, v.60, n.2, p.449-453, 2008.

MONTEIRO, M.C.H. ; TORRENT, J. **Dinâmica do fósforo no solo: perspectiva agronômica e ambiental.** Castelo Branco : IPCB. ISBN 978-989-8196-10-1. 2010, 97 p.

NANTHAKUMAR, C.; VIJAYALAKSHMI, S. Construction Of Inter Quartile Range (IQR) Control Chart Using Process Capability For Mean Using Range. **International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)**, Volume 5, Issue 1, January 2016.

ORTIZ, J.O.; **Análise de Risco na fase de Planejamento em Sistemas de Produção Agrícola por meio da Simulação Geoestatística Condicionada.** São José dos Campos-SP: INPE, Tese de doutorado, 2008.

PARRINELLO, C.M.; GRAMS, M.E.; SANG, Y.; COUPER, D.; WRUCK, L.M.; L.D.; ECKFELDT, J.H.; SELVIN, E.; CORESH, J. Iterative Outlier Removal: A Method for Identifying Outliers in Laboratory Recalibration Studies. **Clinical Chemistry**, 62:7, 966–972 2016.

PORTELA, E.; PIRES, A.L. **Nutrient deposition and leaching by rainwater in low and intensively managed chestnut groves.** **Proceedings Conference on Erosion and Land Degradation in Mediterranean**, Universidade de Aveiro, Portugal. pp. 307-317, 1995.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais.** Campinas: Embrapa, 2010.

ROSOLEM, C.A.; SANTOS, F.P.; FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. Brasília: **Pesq. agropec. bras.**, v.41, n.6, p.1033-1040, jun. 2006.

SANTOS, D.R.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistema plantio direto. Santa Maria: **Ciência Rural**, v.38, n.2, p.576-586, mar-abr, 2008.

SANTOS, R.L.; ANDRADE, H.O. Avaliação quantitativa do conforto térmico de uma cidade em área de transição climática: Feira de Santana-Bahia, Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, 40: 77-84, 2008.

SANTO, S.M.; SILVA, B.C.M.N.; SANTOS, R.L.; FERNANDES, R.B.; População e meio ambiente no umbral do século XXI na cidade de Feira de Santana (Bahia-Brasil). Barcelona: **Rev. Elet. de Geografia y ciencias sociales**. Vol. 17, n. 425, 2013.

SILVA, A.B. **Análise quantitativa espacial: conceitos e fundamentos.** Curitiba: Appris, 1. ed. 2018. 325p.

SILVA, S.A.; LIMA, J.S.S. Lógica Fuzzy no mapeamento de variáveis indicadoras de fertilidade do solo. Chile: **IDESIA**, vol. 27, nº 3, 41-46, 2009.

SUBBARAO, G.V.; ITO, O.; BERRY, W.L.; WHEELER, R.; MOHAMMAD, D.; PESSARAKLI. Sodium—A Functional Plant Nutrient. **Critical Reviews in Plant Sciences** 22(5):391--416 · September 2003.

ZONTA, J.H.; BRANDÃO, Z.N.; MEDEIROS, J.C.; SANA, R.S.; SOFIATTI, V. Variabilidade espacial da fertilidade do solo em área cultivada com algodoeiro no cerrado do Brasil. Campina Grande: **Rev. Bras. Eng. Agrícola**. vol.18, no.6, 509-602, 2014.

CAPÍTULO 4

COMPORTAMENTO ESPECTRAL E CORRELAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS DE FEIRA DE SANTANA-BA

4.1 RESUMO

Técnicas rápidas e de baixo custo para o diagnóstico do solo são de grande valia nos estudos atuais. Nessa perspectiva, o objetivo desse estudo foi correlacionar feições espectrais com teores dos elementos maiores medidas em solos de Feira de Santana-Ba, identificando também, por espectrorradiometria, atributos mineralógicos. Logo, as amostras coletadas foram submetidas a análise espectral e à avaliação química dos elementos maiores Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e Sódio (Na). Com as amostras avaliadas por espectrorradiometria, foram extraídos os dados de reflectância, contínuo removido e profundidade de feição das bandas espectrais 500, 600, 950, 1400, 1900, 2205, 2300, 2380 e 2445 nanômetros. Posteriormente avaliou-se pelo coeficiente de Pearson a correlação linear entre a os dados extraídos das bandas e os elementos maiores dos solos de Feira de Santana-BA. Em seguida, identificou-se a mineralogia presente nas profundidades de feição. Observou-se que existe uma baixa correlação linear entre os espectros e os elementos químicos na maioria dos casos avaliados. Observa-se também que nos solos de Feira de Santana a depender da classe avaliada e do nível de intemperismo, existe a predominância de diferentes minerais.

Palavras-Chave: Espectrorradiometria de reflectância; Comportamento espectral;

4.2 ABSTRACT

Fast and inexpensive techniques for soil diagnosis are of great value in current studies. In this perspective, the objective of this study was to correlate spectral features with levels of the major elements measured in Feira de Santana-Ba soils, also identifying, by spectroradiometry, mineralogical attributes. Therefore, the collected samples were submitted to spectral analysis and to the chemical evaluation of the major elements Phosphorus (P), Potassium (K), Magnesium (Mg), Calcium (Ca) and Sodium (Na). With the samples evaluated by spectroradiometry, the reflectance, continuous removal and depth of spectral bands of the spectral bands 500, 600, 950, 1400, 1900, 2205, 2300, 2380 and 2445 nanometers were extracted. Afterwards, the Pearson coefficient was evaluated for the linear correlation between the data extracted from the bands and the major elements of the Feira de Santana-BA soils. Next, the mineralogy present in the depths of feature was identified. It was observed that there is a low linear correlation between the spectra and the chemical elements in the majority of the evaluated cases. It is also observed that in the soils of Feira de Santana depending on the evaluated class and the level of weathering, there is a predominance of different minerals.

Keywords: Reflectance spectroradiometry; Spectral behavior;

4.3 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a ciência do solo procurou desenvolver técnicas que ajudassem a melhor caracterizar os atributos pedológicos. Em muitos estudos recentes, a aplicação do sensoriamento remoto nesses estudos tem chamado atenção, principalmente porque esses métodos podem gerar informações mais rápidas e baratas, ganhando credibilidade na comunidade científica (BELLINASO et al., 2010).

Uma maneira de extrair informações sobre solos na atualidade, com base em dados de sensoriamento remoto, refere-se ao estudo de certas feições de absorção de energia em determinados comprimentos de onda ou em regiões espectrais bem definidas, chamada de espectrorradiometria (DEMATTE et al, 2003). Trata-se de uma metodologia avançada dentro do sensoriamento remoto, permitindo avaliar o comportamento espectral dos diferentes alvos por meio da captação da energia eletromagnética e transformação dessa energia em assinatura espectral. Nesse sentido, a utilização da espectrorradiometria pode ser uma nova alternativa em relação ao método tradicional de pesquisa de solo (BELLINASO et al., 2010; POPPIEL et al., 2018).

A espectrorradiometria pode ser muito útil na identificação dos minerais constituintes dos solos, uma vez que as similaridades de absorções e assinaturas na curva espectral pode prever a existência de um mineral. Também se economiza custos substanciais em métodos e recursos para a avaliação e caracterizações pontuais dos solos, permitindo um rápido estudo em contraposição às técnicas já consolidadas. Logo, metodologias rápidas e de baixo custo para o diagnóstico *in situ* do solo e seus atributos são de grande valia para a avaliação e o manejo, com identificação de atributos por meio de sua assinatura espectral (GENÚ & DEMATTE, 2012).

Nessa perspectiva, a assinatura ou comportamento espectral do solo irá ser influenciado por sua composição química, física, biológica e mineralógica, sendo que os principais constituintes que afetam o seu comportamento espectral são a matéria orgânica e os óxidos de ferro (DALMOLIN et al., 2005). Logo, na atualidade tem sido utilizadas metodologias estatísticas para avaliar o poder da espectrorradiometria na identificação de atributos químicos nos solos. O objetivo desse estudo foi correlacionar feições espectrais com

teores dos elementos maiores medidas em solos de Feira de Santana-Ba, identificando também, por espectrorradiometria, atributos mineralógicos.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Área de estudo

Feira de Santana-BA é município brasileiro que está situado no agreste, área de transição biológica entre a Mata Atlântica e a Caatinga, com presença de fauna e flora dos dois ambientes (DIAS & LOBÃO, 2016). Está localizada em uma área denominada “Polígono das Secas”, com clima variando de seco a subúmido e prolongados períodos de estiagem (CPRM, 2005). O município desempenha importante papel regional, servindo de ligação entre as regiões fisiográficas do litoral úmido e do interior semiárido, e entre as grandes regiões geográficas Nordeste e Sudeste do Brasil (SANTO et al., 2013).

Geomorfologicamente o Feira de Santana está em uma região de Pediplano Sertanejo, na unidade geomorfológica dos Tabuleiros Interioranos, que são características de superfícies descontínuas modeladas e tabulares. Geologicamente tem duas formações: o embasamento cristalino pré-cambriano, composto basicamente por granitos-gnaisses; e outra sedimentar de idade Pliocênica composta por conglomerados, areias e argila (SANTOS & ANDRADE, 2008).

O uso e ocupação da terra é caracterizado em grande parte da área territorial pela agricultura e pecuária, o município também possui, lagos, açudes ou represas principalmente na porção leste. Na porção oeste observa-se a presença da vegetação caatinga, da floresta estacional e secundária. A vegetação natural do município é a caatinga arbórea e arbustiva, que se encontra bastante fragmentada nas partes mais baixas do relevo e bem preservada nas áreas de serras. Já o núcleo urbano está localizado na porção central do município (DIAS & LOBÃO, 2016).

De acordo com o mapeamento pedológico do IBGE (2018), predomina no município predomina cinco grandes classes de solos, ao leste, destaca-se os Argissolos juntamente com uma faixa de Planossolos. Ao norte pequenas faixas de Latossolos. Ao oeste Planossolos, Neossolos Litólicos e Chernossolos.

4.4.2 Coleta de amostras

Foram coletadas 75 amostras de solo para a avaliação em laboratório utilizando o trado holandês preferindo-se as áreas com menores intervenções humanas. Também foi realizada a descrição da paisagem dos locais de coleta, observando o estado de preservação ou de interferência humana (Figura 27 e 28). O tipo de amostragem foi simples de uma amostra por ponto. Já distância média entre os pontos foi de 1500 metros.

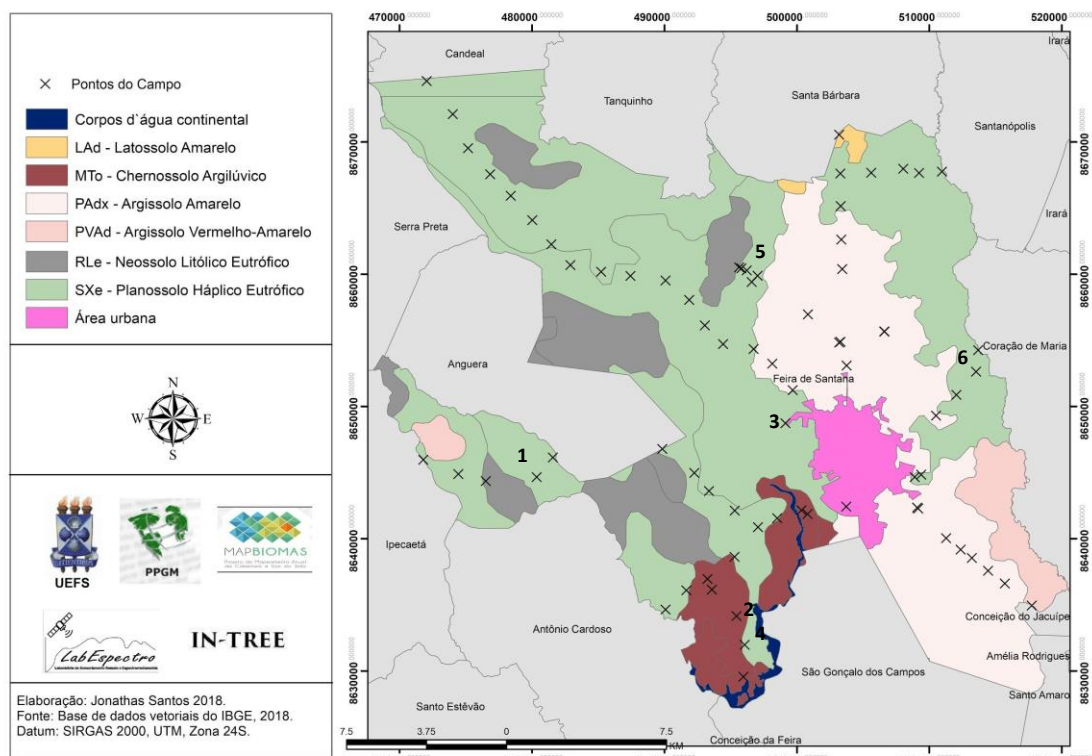


Figura 27. Pontos do trabalho de campo nas classes de solos do município de Feira de Santana-BA, os números nos pontos estão correlacionados com as fotografias da figura 28.

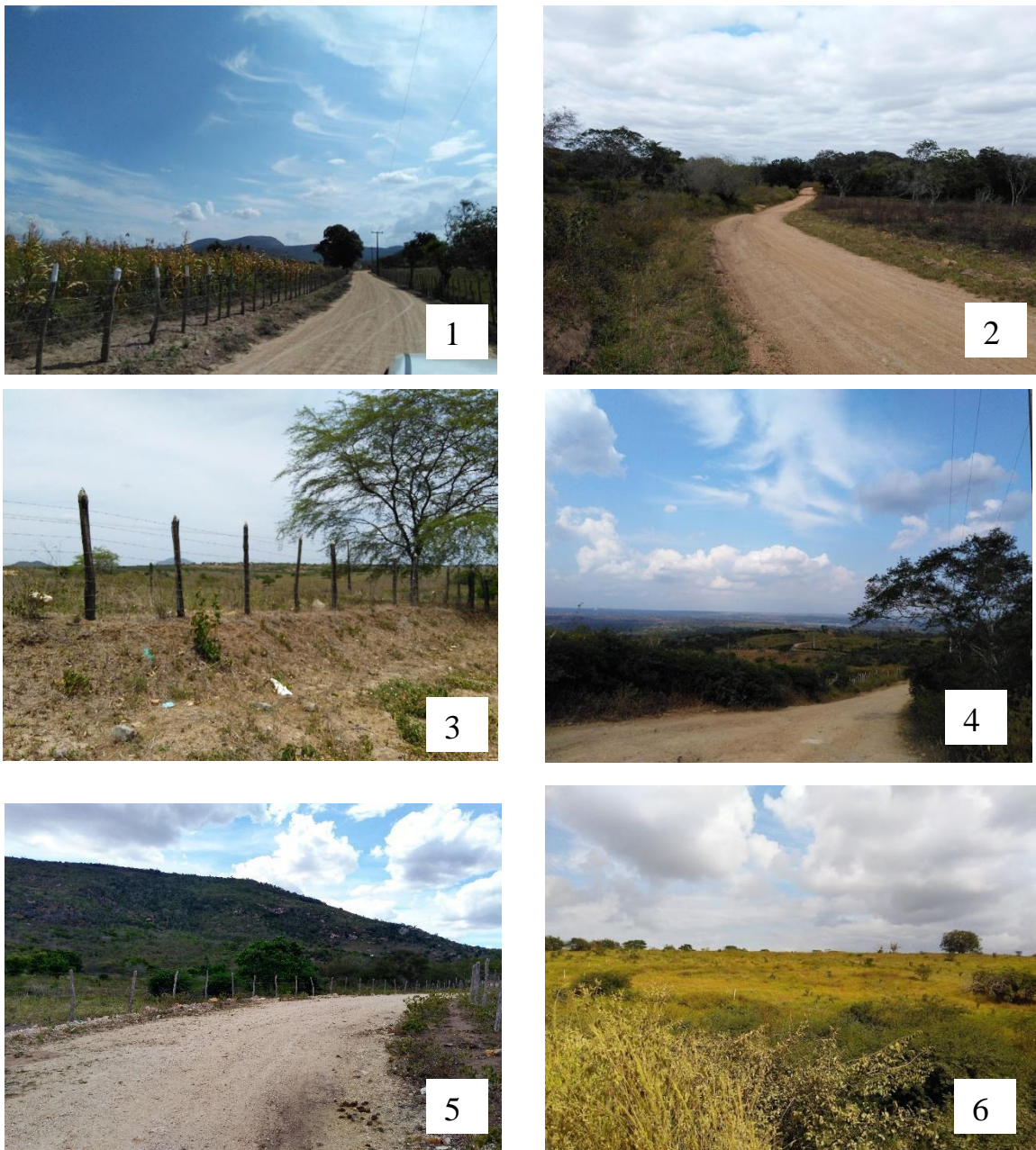


Figura 28. Locais de coletas de amostras em Feira de Santana-BA. (1) Área agrícola com presença de uma topografia mais elevada ao fundo; (2) Área de topografia relativamente plana com vegetação típica da região; (3) Área rural da cidade com presença da vegetação típica da caatinga e interferências humanas; (4) Local próximo de rio, observa-se uma vegetação típica da caatinga e interferência antrópica com abertura de estrada; (5) Área rural da cidade, verifica-se uma topografia mais elevada ao fundo, interferências humanas com aberturas de estradas e cercamento de propriedades; (6) Local de predominância de uma vegetação rasteira e algumas árvores de porte arbóreo ao fundo.

4.4.3 Preparação das amostras para as leituras espectrais

A fase de preparação das amostras aconteceu no laboratório de sensoriamento remoto e espectrorradiometria (Labespectro), da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS). As amostras de solo coletadas foram peneiradas em malha de 2mm de acordo com a Embrapa (2011). Em seguida as amostras foram colocadas em placas de petri e levadas para a estufa de secagem com circulação e renovação de ar, com temperatura de 45° C durante 24 horas, segundo a metodologia de Ben-Dor et al., (1999). A secagem das amostras foi essencial para retirar o grande conteúdo de água que poderia interferir nas assinaturas espectrais dos solos (BELLINASSO et al., 2010).

4.4.4 Avaliação espectral

Com as amostras secas, foram realizadas medidas espectrais utilizando-se um espectrorradiômetro portátil modelo FieldSpec® 3 Hi-Res (intervalos de 350nm – 2500nm), fornecendo uma coleta uniforme de dados na região do VIS / NIR / SWIR (Figura 29). Realizou-se três leituras para cada amostra por meio da sonda de contato.

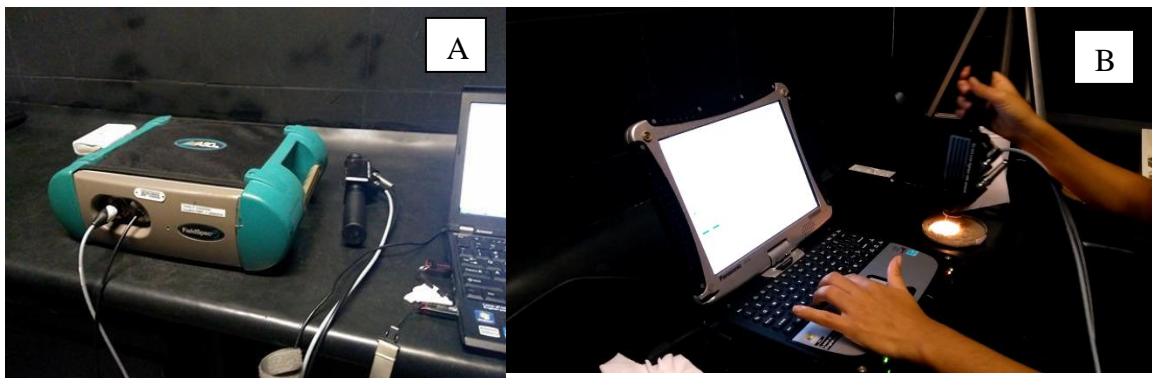


Figura 29. (A) Equipamento Espectrorradiômetro; (B) Avaliação espectral e visualização das curvas espectrais.

4.4.5 Tratamento espectral

Foram utilizadas as bandas 500, 600, 950, 1400, 1900, 2205, 2300, 2380, 2445 nanômetros para a extração dos valores de reflectância, contínuo removido e profundidade de feição. A escolha dessas bandas foi por conta das suas absorções características nas curvas espectrais de solos. O método de remoção do contínuo espectral é um processo geralmente

empregado para enfatizar as características de absorção do espectro (HENGQIAN & LIFU, 2013). Esse método foi utilizado para posteriormente fazer parte das análises de correlação linear com a química dos solos. Nesse sentido, os valores de reflectância e de contínuo removido, de cada banda das curvas espectrais, foram exportadas em formato de biblioteca espectral para o cálculo da profundidade de feição.

O cálculo da profundidade de feição foi realizado no Excel, utilizando a fórmula do valor da banda em contínuo removido menos o valor 1. Como resultado, os valores com profundidade de feição próximos de 1 são considerados com maior teor do elemento químico que está respondendo espectralmente na absorção espectral, enquanto os próximos a 0 os valores com menores teores do elemento químico.

4.4.6 Identificação de minerais

Para a identificação de minerais, utilizou-se a biblioteca de referência da United States Geological Survey (USGS) no programa Envi 5.3. Com o contínuo removido, observou-se as profundidades de feições das bandas 500, 950, 600, 1400, 1900, 2205, 2300, 2380 e 2445 nanômetros e correlacionou-se com as feições espectrais características dos minerais de referência, observando as similaridades de absorções.

Também se identificou minerais por meio do programa The Spectral Geologist (TSG), que indica a probabilidade de ocorrência de um determinado mineral em uma curva espectral de solo, com análises no VIS/NIR/SWIR. O TSG representa a combinação de anos de pesquisa na análise de dados espectrais em uma ampla gama de ambientes de mineração e exploração mineral de todo o mundo (TSG, 2018).

4.4.7 Avaliação química das amostras

As amostras coletadas também foram submetidas a avaliação química. Parte das amostras foram para o laboratório de química de solo da Embrapa de Cruz das Almas-BA e a outra parte para a Embrapa de Petrolina-BA. Foram determinados os elementos maiores Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e Sódio (Na). O método utilizado para

a determinação do P, K, e Na foi com o extrator Mehlich 1 com determinação por absorção atômica. Já para a extração do Mg e Ca utilizou-se o KCl 1M também por absorção atômica.

4.4.8 Correlação linear entre os dados espectrais e químicos de solo

Para a correlação entre os espectros e a química de solo, utilizou-se o coeficiente correlação de Pearson (R), que é uma medida de associação linear entre as variáveis, demonstrando o seu grau de relacionamento (FILHO & JÚNIOR, 2009). O coeficiente de correlação de Pearson pode variar de -1 até 1, indicando uma direção de relacionamento negativo ou positivo entre as variáveis (LIRA & NETO, 2006).

Nessa perspectiva, utilizou-se os valores de reflectância, contínuo removido e profundidade de feição dos espectros para uma correlação linear de Pearson entre os elementos maiores Fósforo (P), Potássio (K), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca) e Sódio (Na).

4.4.9 Fluxograma de atividade

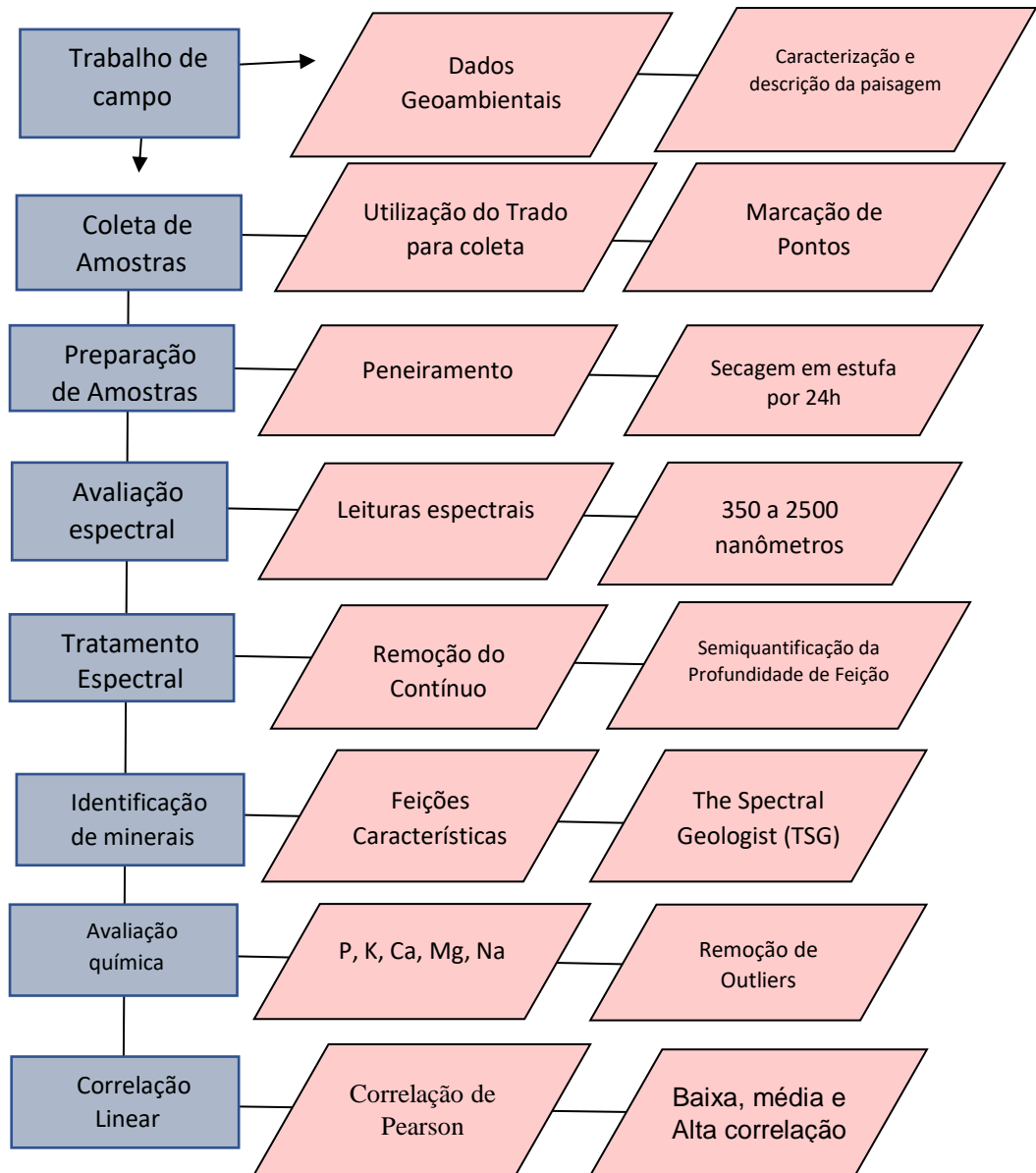


Figura 30. Fluxograma teórico-metodológico das atividades

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os espectros dos solos de Feira de Santana, em sua grande maioria possuem absorções características (Figuras 31 e 32) nos intervalos de 500, 600, 950, 1400, 1900, 2205, 2300, 2380, 2445 nanômetros, sendo essas as bandas escolhidas para a avaliação da profundidade de feição, bem como para o coeficiente de correlação linear e a identificação de constituintes minerais.

Logo, sabe-se que os fótons são absorvidos dos minerais por vários processos. A variedade de absorção e sua dependência de comprimento de onda nos permitem obter informações sobre a química de um mineral de sua luz refletida ou emitida (CLARK, 1999). Nessa perspectiva, os elementos químicos no solo podem influenciar nas curvas espectrais, como também apresentam feições de absorção específicas para determinados elementos já comprovados (HUNT, 1977, CLARK, 1999, SOUZA JUNIOR et al, 2011). A partir das bandas de absorção e morfologia da curva é possível identificar elementos químicos que interagem na faixa espectral VIS-NIR-SWIR. A análise espectral, inicialmente é realizada pela curva espectral em reflectância, avaliando a morfologia da curva e o fator de reflectância, em seguida, aplica-se a técnica remoção do contínuo, afim de normalizar a curva e enfatizar as bandas de absorções. As figuras 31 e 32 apresentam as curvas espectrais com as duas técnicas descritas e sinaliza as principais bandas de absorção.

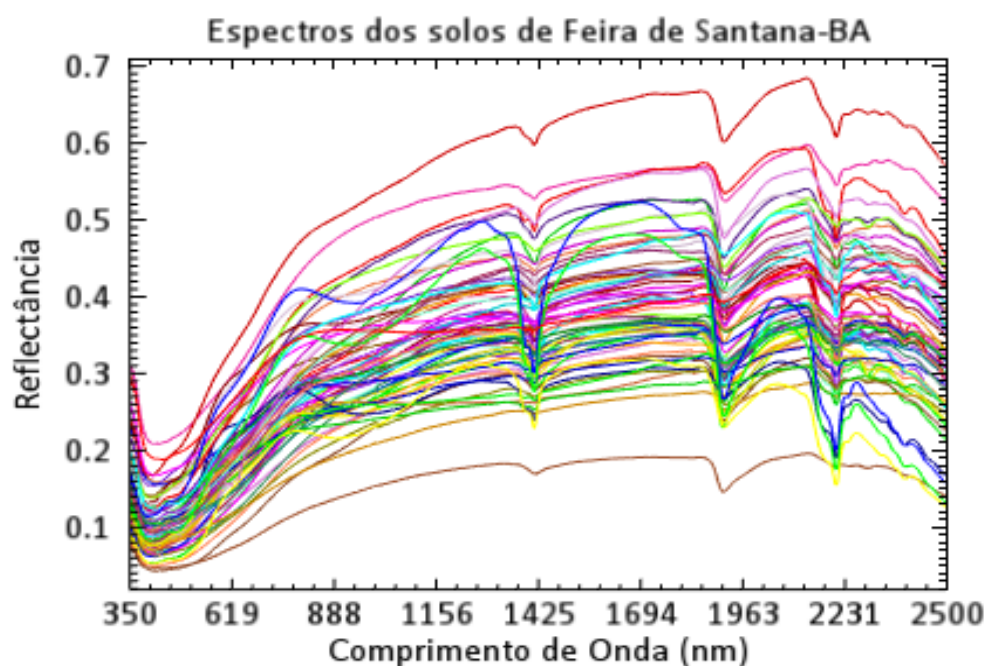


Figura 31. Comportamento espectral dos solos da área de estudo de 350 a 2500 nanômetros. Observa-se no eixo x o comprimento de onda e no eixo y a reflectância. As curvas espectrais dos solos possuem absorções características ao longo do espectro.

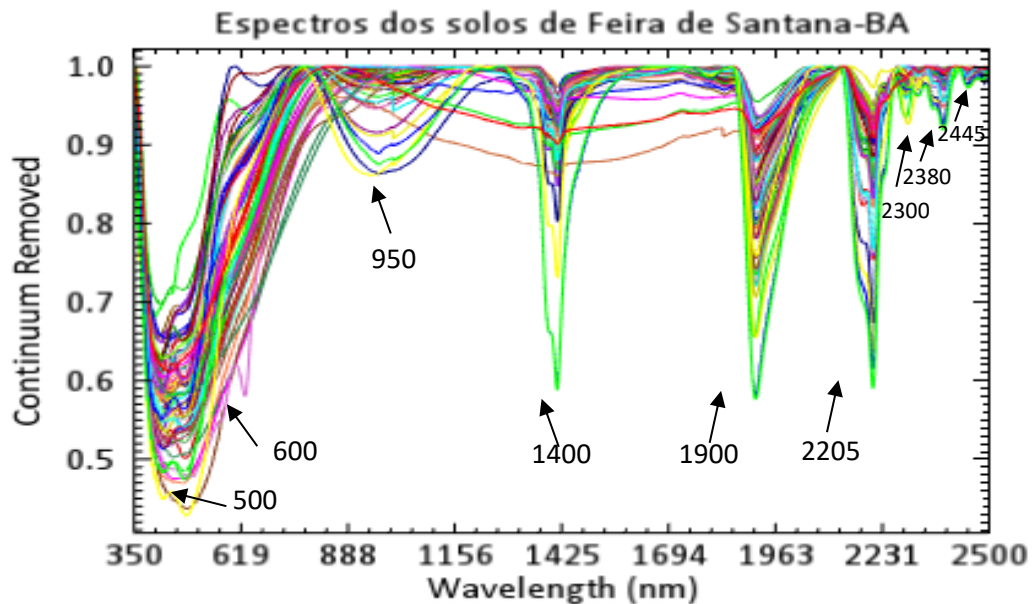


Figura 32. Comportamento espectral dos solos da área de estudo com remoção do contínuo espectral de 350 a 2500 nanômetros. Observa-se no eixo x o comprimento de onda e no eixo y a remoção de continuidade espectral.

O coeficiente de correlação de Pearson entre as variáveis da reflectância, contínuo removido, profundidade de feição e dos elementos maiores nos solos de Feira de Santana, demonstrou na maioria dos casos, uma baixa correlação linear (Tabela 5, 6 e 7). O coeficiente de correlação Pearson (r) varia de -1 a 1, demonstra o relacionamento de direção negativa ou positiva, respectivamente entre as variáveis (FILHO & JÚNIOR, 2009). Percebe-se que a depender da forma de análise os valores podem ser negativos (reflectância e contínuo removido) ou positivos (profundidade de feição), revelando que os valores se invertem a depender do método utilizado.

Para a correlação com dados em reflectância, basicamente todos os valores foram negativos, e o elemento químico que teve maior expressividade foi o Mg, variando de -0.38 a -0.32 na faixa do SWIR, o Mg, responde espectralmente na faixa entre 2240 a 2400nm. Esses valores negativos referem-se a esse elemento diminuir o albedo das amostras de solo, de acordo com Souza Junior (2011).

A correlação com os dados do contínuo removido expresso na tabela 6, foram basicamente negativos para dos os elementos químicos, com destaque de maior correlação

para o Mg variando de -0.40 a -0.34, na faixa do SWIR. O Ca, também apresentou correlação expressiva na faixa do VIS- NIR.

A técnica profundidade de feição tem como objetivo, semiquantificar os elementos químicos presentes na amostra. Clark (1999) aplica essa técnica na identificação e semiquantificação de minerais e elementos químicos. São dados que perpassam por uma alteração do produto inicial (os valores das bandas espectrais). A correlação desses dados com os elementos maiores do solo foram positivas para basicamente todas bandas e elementos químicos, em destaque encontra-se o Mg, com correlação positiva na faixa espectral que corresponde a sua absorção (2300nm, 2380nm, 2445nm). Os valores de correlação variam entre 0.35 a 0.34. Para os outros elementos maiores, os valores não foram significativos, tanto o Fósforo como o Potássio indicam uma baixa correlação linear com as bandas por não apresentarem valores que ultrapassam o valor 0,29.

Nesse sentido é verificável que a espectrorradiometria poderia ser utilizada para a avaliação dos elementos maiores dos solos de Feira de Santana, principalmente os elementos Ca, Mg e Na que apresentaram um resultado médio em algumas bandas das três técnicas utilizadas, sendo que, esses dados poderiam ser utilizados como parâmetros para futuras análises espectrais. É verificável que espectrorradiometria vem se mostrando eficiente na avaliação desses elementos maiores em outros estudos, a exemplo de Islam et al., (2003) que por análise multivariada realizou a predição espectral do Magnésio, Cálcio e Potássio, encontrando resultados satisfatórios. Demattê et al., (2017) que utilizou modelos de predição por regressão linear múltipla para avaliar as respostas espectrais específicas do Potássio e Magnésio, encontrando resultados também satisfatórios.

Tabela 5. Coeficiente de correlação de Pearson para reflectância e elementos maiores dos solos de Feira de Santana. Na horizontal estão expressas as bandas espectrais e na vertical os elementos maiores.

	500	600	950	1400	1900	2205	2300	2380	2445
P	-0.10	-0.08	-0.03	0.10	-0.04	0.18	0.03	0.07	0.05
K	-0.19	-0.17	-0.07	0.01	-0.01	0.05	0.02	0.04	0.04
Ca	-0.34	-0.37	-0.31	-0.20	-0.35	-0.11	-0.27	-0.21	-0.22
Mg	-0.28	-0.23	-0.25	-0.20	-0.38	-0.20	-0.33	-0.30	-0.32
Na	-0.18	-0.12	-0.09	-0.04	-0.19	-0.05	-0.13	-0.13	-0.15

Tabela 6. Coeficiente de correlação de Pearson para contínuo removido e elementos maiores dos solos de Feira de Santana. Na horizontal estão expressas as bandas espectrais e na vertical os elementos maiores.

	500	600	950	1400	1900	2205	2300	2380	2445
P	-0.11	-0.09	-0.05	0.08	-0.06	0.16	0.01	0.05	0.04
K	-0.18	-0.16	-0.07	0.02	-0.01	0.05	0.02	0.04	0.04
Ca	-0.33	-0.38	-0.31	-0.20	-0.33	-0.10	-0.26	-0.20	-0.21
Mg	-0.31	-0.27	-0.29	-0.24	-0.40	-0.22	-0.35	-0.32	-0.34
Na	-0.19	-0.14	-0.12	-0.07	-0.20	-0.06	-0.14	-0.13	-0.15

Tabela 7. Coeficiente de correlação de Pearson para profundidade de feição e elementos maiores dos solos de Feira de Santana. Na horizontal estão expressas as bandas espectrais e na vertical os elementos maiores.

	500	600	950	1400	1900	2205	2300	2380	2445
P	0.12	0.12	0.09	0.06	0.15	-0.11	0.09	-0.05	0.01
K	0.05	0.06	0.03	0.00	0.02	-0.07	0.00	0.03	-0.06
Ca	0.28	0.34	0.33	0.28	0.39	0.15	0.32	0.04	0.25
Mg	0.31	0.27	0.29	0.25	0.39	0.22	0.35	0.32	0.34
Na	0.19	0.14	0.12	-0.03	0.08	0.06	0.05	0.03	0.15

Com a avaliação das feições características das absorções espectrais, identificou-se os principais minerais constituintes dos solos de Feira de Santana por classe de solo em cada profundidade de feição analisada (Figuras 33 a 38). Logo, observa-se que os principais minerais identificados foram a Goethita que possui absorção de referência em 600 e 900nm, Caulinita que possui absorções características em 1400nm, 1900nm e 2205nm, Muscovita com absorção de referência na 1400nm e nas faixas (2180-2228), (2342-2435).

A Ilita com absorção diagnóstica em 2208nm e Montmorilonita com feições características de absorção em 1410, 1904 nm e 2205nm, o que diferencia esse mineral da caulinita é o formato da curva e a absorção mais pronunciada em 1900nm, referente a H₂O, sendo um argilomineral expansivo (IGE, 2019). Esses minerais foram confirmados na identificação automática realizada no TSG.

Observa-se a feição característica do óxido de ferro Goethita $\text{FeO}(\text{OH})$ na banda 500nm, 600nm e 950nm dos Planossolos, Argissolos Amarelos e Argissolos vermelhos-Amarelos (Figura 33, 37 e 38). Verifica-se que em solos muito intemperizados existe a predominância de óxidos de ferro como a Hematita e a Goethita (FERNANDES et al., 2004). A Goethita forma-se preferencialmente em ambientes mais úmidos, de drenagem mais fraca e ricos em matéria orgânica (CASTRO et al., 2014).

A Muscovita $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{F},\text{OH})_2$ foi identificada nos Neossolos, Latossolos, Argissolos Amarelos e Argissolos vermelhos Amarelos (Figura 35, 36, 37 e 38) O mineral Muscovita é do grupo dos Filossilicatos, grupo das micas é formada por processos pneumatolíticos, hidrotermais, metamórficos, ou por cristalização magmática (NAVARRO et al., 2017). É claramente um mineral muito mais resistente do que o feldspato, a biotita e a clorita nos materiais originais que se alteraram completamente para os minerais secundários (ANAND & GILKES, 1987). A absorção desse mineral, não apenas na banda 1400, mas também na faixa 2342nm a 4235nm, com dupla absorção.

Em 1900nm observou-se a Montmorilonita $(\text{Mg}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}_5\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ associada com a presença da água nos Chernossolos, Neossolos, e Argissolos vermelhos-Amarelos (Figuras 34, 35 e 38). A Montmorilonita caracteriza-se por um sistema químico composto pela alta relação de Si e Al, relativa abundância de Mg, Fe, Ca, Na e baixa concentração de íons H (DEMATTE et al., 1972). Esse mineral desenvolve-se geralmente por meio do intemperismo em regiões áridas e semiáridas, em ambientes alcalinos (NASA, 1987).

Já em 2205nm, 2300nm, 2380nm, e 2445nm observa-se claramente as feições características da Caulinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})$ nos Palossolos, Latossolos, Argissolos Amarelos e Argissolos vermelhos-amarelos (Figura 33, 36, 37 e 38). A caulinita é um dos minerais mais abundantes nos solos e sedimentos tropicais, pode se formar tanto em condições ambientais quanto por condições hidrotermais por alteração de minerais primários, mais frequentemente feldspatos (HUERTAS et al., 1999).

A Ilita $(\text{K},\text{H}_3\text{O})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,\text{H}_2\text{O}]$ foi identificada nos Chernossolos e Neossolos, (Figuras 34 e 35). A Ilita possui estrutura semelhante à da Esmectita (2:1), diferindo por haver maior substituição do alumínio por sílica; diferem também da mica Muscovita por ter mais sílica e menos potássio (CASTRO, 2014).

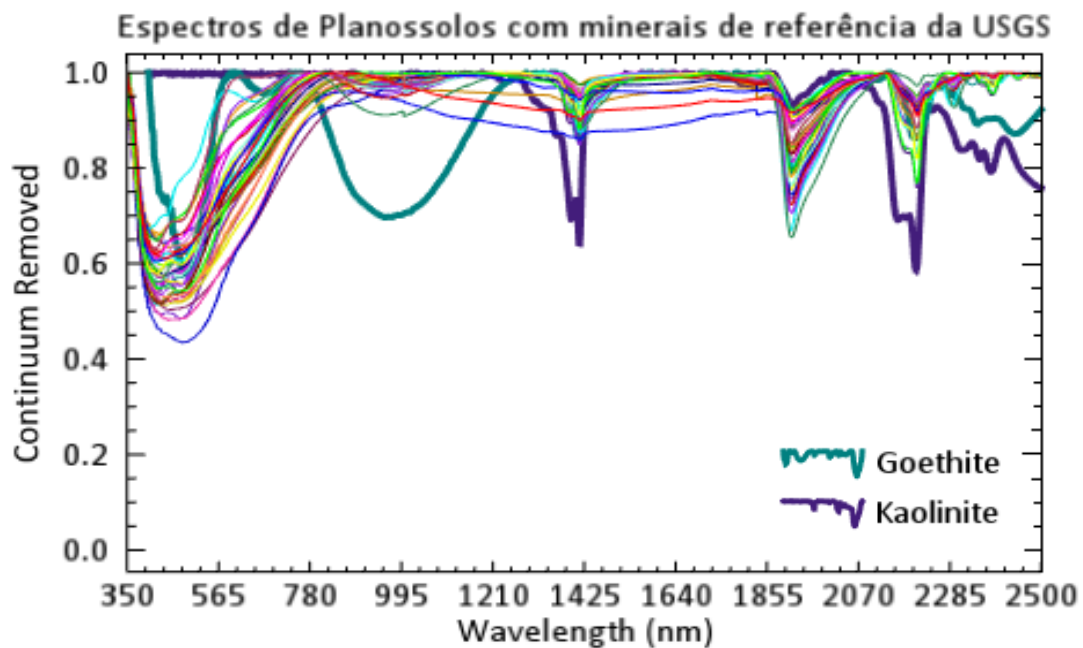


Figura 33. Comportamento espectral dos solos de Feira de Santana com mineral Goethita de referência da USGS.

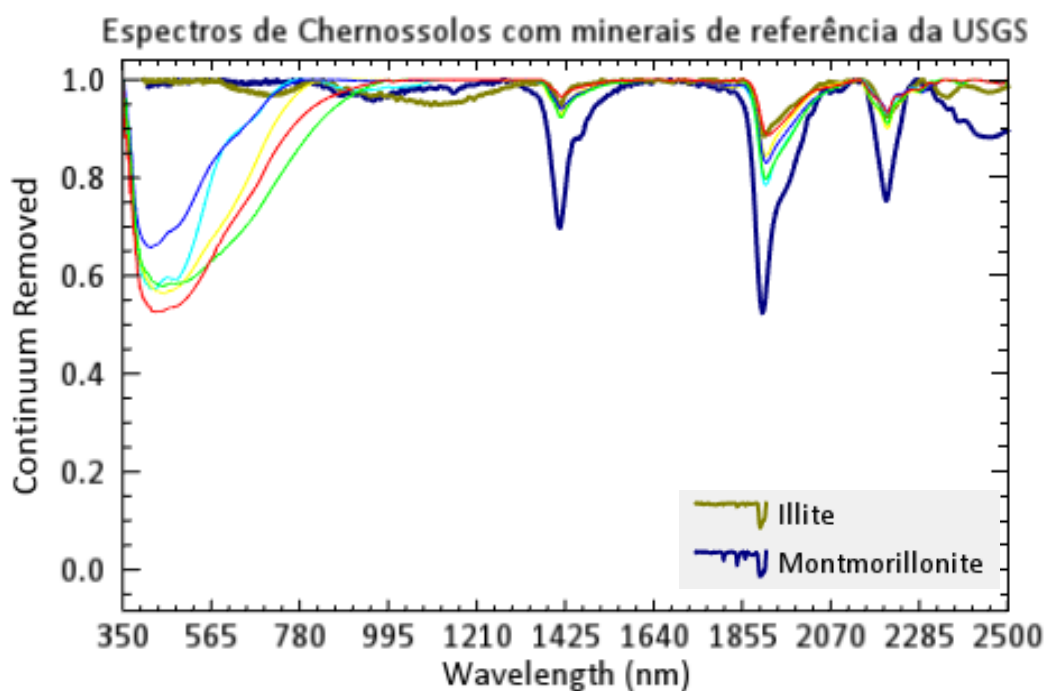


Figura 34. (A), (B). Comportamento espectral dos Chernossolos de Feira de Santana-BA com minerais de referência da USGS.

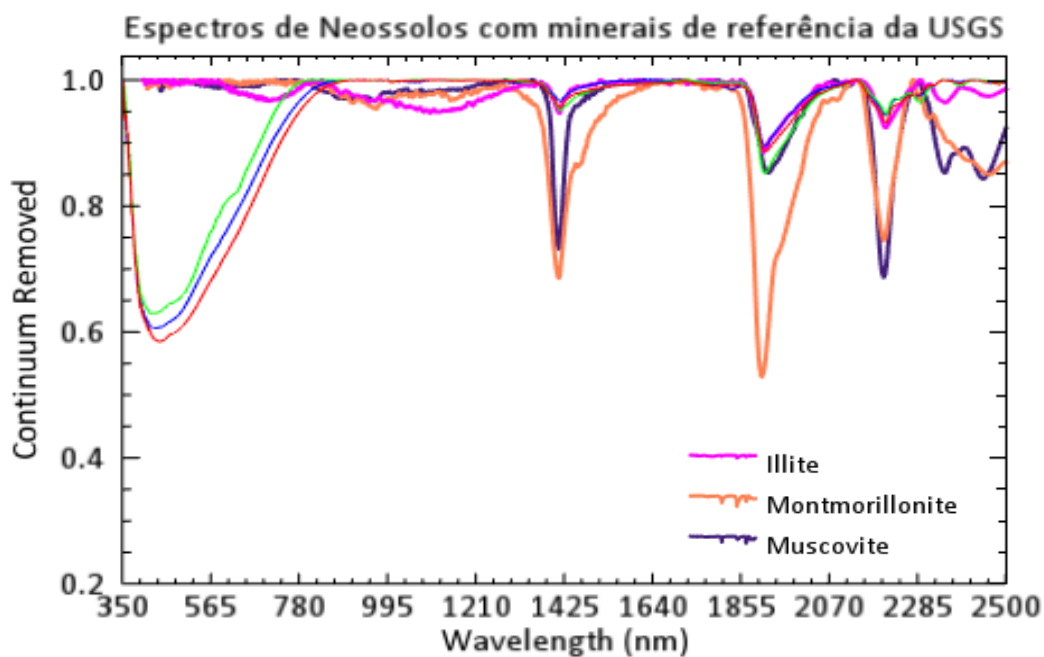


Figura 35. Comportamento espectral dos Neossolos de Feira de Santana-Ba com minerais de referência da USGS.

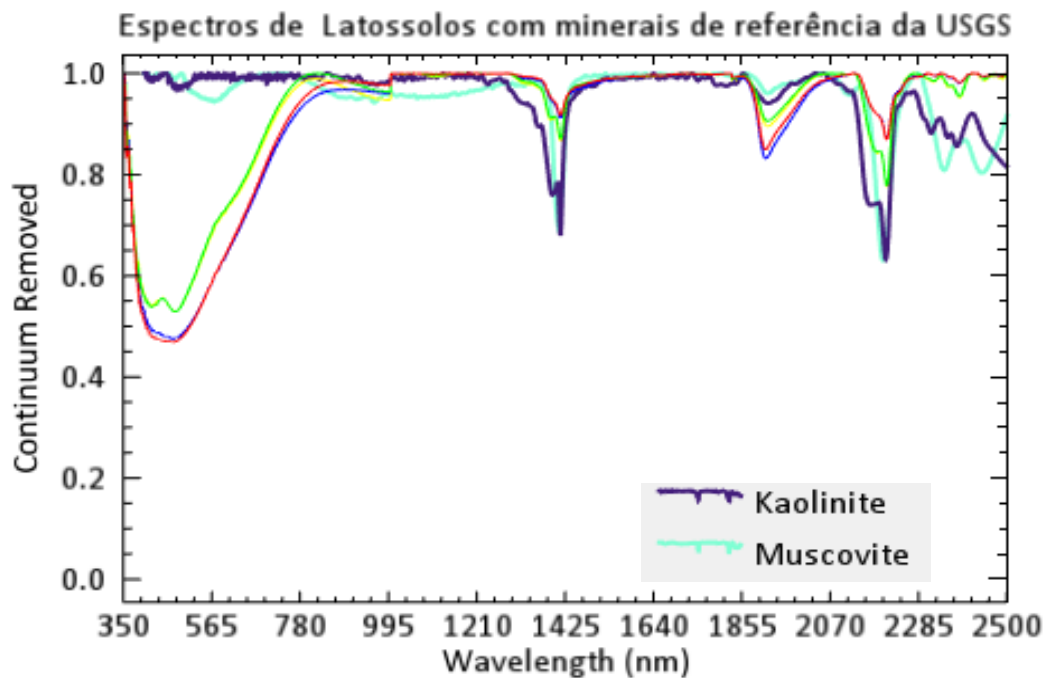


Figura 36. Comportamento espectral dos Latossolos de Feira de Santana-Ba com minerais de referência da USGS.

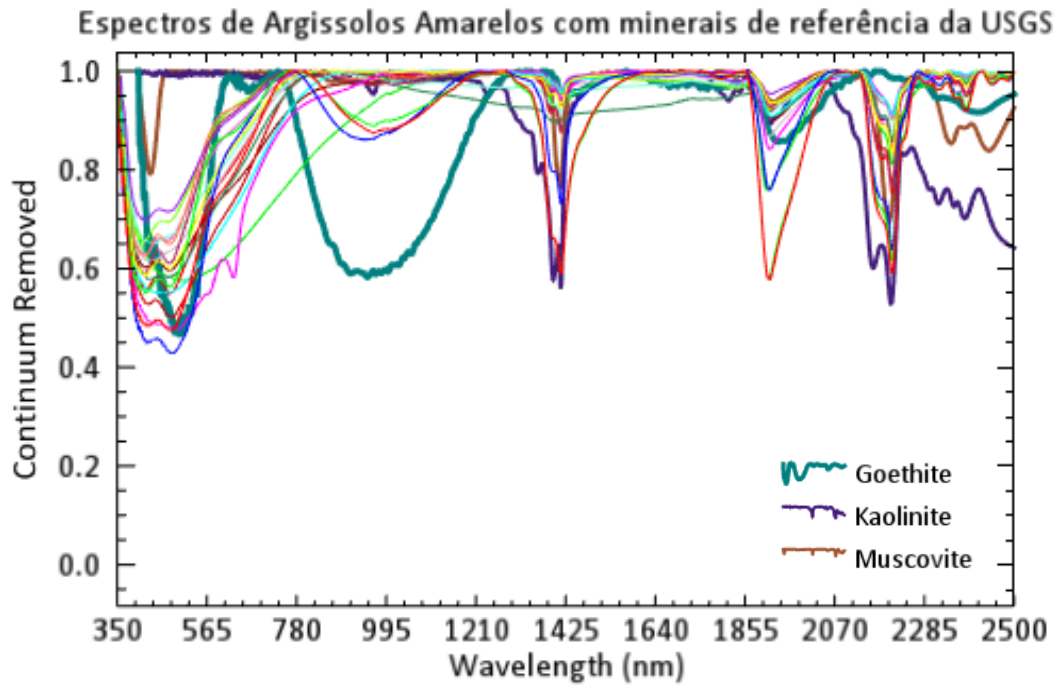


Figura 37. Comportamento espectral dos Argissolos Amarelos de Feira de Santana-Ba com minerais de referência da USGS.

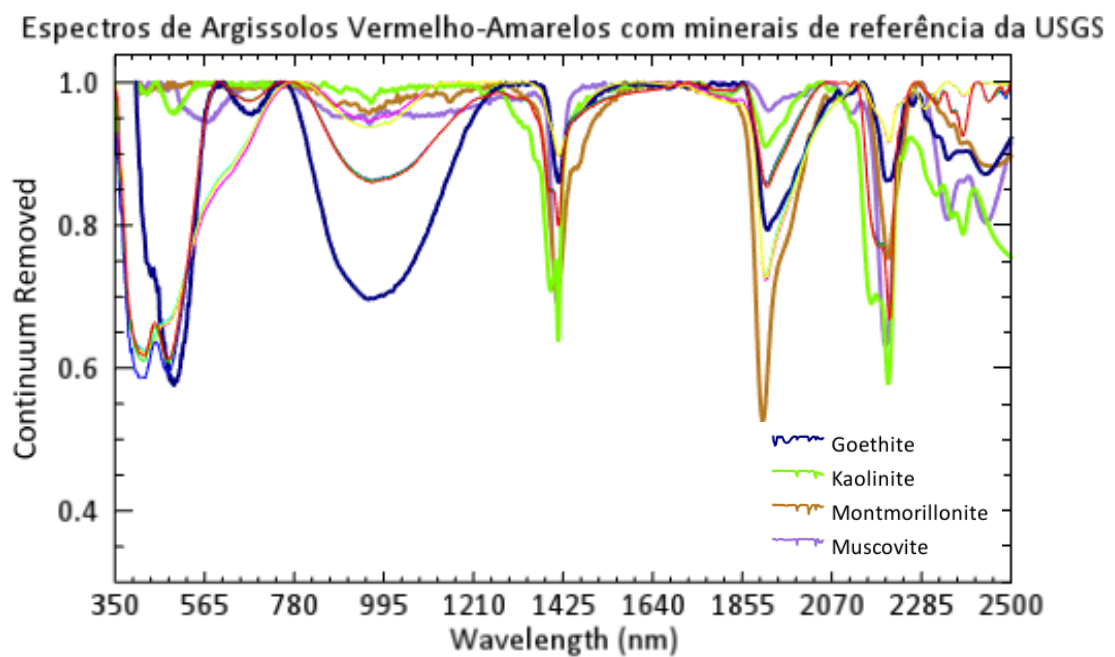


Figura 38. Comportamento espectral dos Argissolos Vermelho-Amarelos de Feira de Santana-Ba com minerais de referência da USGS.

4.6 CONCLUSÃO

A avaliação da correlação do teor dos elementos químicos dos solos de Feira de Santana-Ba com as medidas de profundidade de feição dos seus respectivos espectros, demonstra que a depender do método os resultados podem ser positivos ou negativos. Observa-se que existe uma baixa correlação linear na maioria dos casos pesquisados. Entretanto, no caso do Cálcio, Magnésio e Sódio, constatou-se uma média correlação linear entre algumas das bandas. Nesse sentido, a espectrorradiometria poderia ser utilizada para a identificação desses elementos, sendo necessário mais estudos para comprovar a eficiência dessa técnica com os outros elementos dos solos de Feira de Santana.

Observa-se que nos solos de Feira de Santana a depender da classe avaliada e do nível de intemperismo, existe a predominância de diferentes minerais. Nessa perspectiva, a espectrorradiometria mostrou-se promissora com a identificação dos minerais constituintes. Logo, o comportamento espectral dos solos estaria associado com a presença desses minerais que também favorecem as profundidades de feições.

4.6 REFERÊNCIAS

ANAND, R.R.; GILKES, R.J. Muscovite in Darling Range bauxitic laterite. **Australian Journal of Soil Research**, 25(4) 445 - 450, 1987.

BELLINASO, H.; DEMATTÊ, J.A.M.; ROMEIRO, S.A. Soil Spectral Library and its use in Soil Classification. **R. Bras. Ci. Solo**, 34:861-870, 2010.

BEN-DOR, E.; CHABRILLAT, S.; DEMATTÊ, J.A.M.; TAYLOR, G.R.; HILL J. WHITING M.L. SOMMER, S. Using Imaging Spectroscopy to study soil properties. **Remote Sensing of Environment**, v113:38-55, 2009.

_____; IRONS, J. R.; EPEMA, G. F. Soil Reflectance. In: RENCZ, A. N. **Remote Sensing for the Earth Sciences**. New York: Manual of Remote Sensing, John Wiley & Sons, 111-118, 1999.

CARNEIRO, J.S.S.; FARIA, A.J.G.; FIDELIS, R.R.; NETO, S.P.S.; SANTOS, A.C.; SILVA, R.R. Diagnóstico da variabilidade espacial e manejo da fertilidade do solo no cerrado. Curitiba: **Revista Scientia Agraria**, vol. 17, nº 3, 38-49, 2016.

CASTRO, P.H.M.; VENDRAME, P.R.S.; PINESE, J.P.P. Clay mineralogy of soils located on islands in the upper Paraná River, PR/MS. Londrina-PR, **R. Semina: Ciên. Exa. e Tec.** 35(2):181-188, 2014.

CLARK, R.N. Spectroscopy of Rocks and Minerals and Principles of Spectroscopy In: RENCZ, A.N., Ed., **Manual of Remote Sensing. Remote Sensing for the Earth Sciences**, John Wiley and Sons, New York, V.3, 3-58, 1999.

COHEN, J. **Statistical power analysis for the behavioral sciences**. Hillsdale, NJ, Erlbaum. 1988.

CPRM. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Diagnóstico do Município de Feira de Santana - Bahia** / Organizado [por] VIEIRA, A, MELO F., LOPES, H.B.V; CAMPOS, J.C.V.; GUIMARÃES J.T., BOMFIM, L.F.C.; COUTO, P.A.A.; BENVENUTI, S.M.P. Salvador:CPRM/PRODEEM, 2005.

DALMOLIN, R.S.D.; GONÇALVES, C.N.; KLAMT, E.; DICK, D.P. Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral. Santa Maria: **Ciência Rural**, v.35, n.2, p.481-489, 2005.

DEMATTE, J.A.M.; ESPIHANIO, J.C.; FORMAGGIO, A.R.; Influência da matéria orgânica e de formas de ferro na reflectância dos solos tropicais. Campinas: **Bragantia**. v.62, n.3, p.451-464, 2003.

_____; MENDES, T.A.C.; FILHO, G. L. Ocorrência de montmorilonita em alguns solos desenvolvidos no arenito de Botucatu. São Paulo: **Anais da Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz**, 29:39-60, 1972.

_____; RAMIREZ-LOPEZ, L.; MARQUES, K.P.P.; RODELLA, A.A. Chemometric soil analysis on the determination of specific bands for the detection of magnesium and potassium by spectroscopy. **Geoderma**, 288:8–22, 2017.

DIAS, L.F.; LOBÃO, J.S.B.; **Um olhar sobre o município de Feira de Santana: a Geografia e o Geoprocessamento num contexto socioambiental**. Feira de Santana: UEFS Editora, 2016.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.230 p.

FERNANDES, R.B.A.; BARRÓN, V.; TORRENT, J.; FONTES, M.P.F. Quantificação de Óxidos de Ferro de Latossolos Brasileiros por Espectroscopia de Refletância Difusa. **R. Bras. Ci. Solo**, 28:245-257, 2004

FILHO, D.B.F.; JÚNIOR, J.A.S.; Desvendando os mistérios do coeficiente de correlação de Pearson (r^2). **Revista Política Hoje**, Vol. 18, n. 1, 2009.

GENÚ, A.M.; DEMATTE, J.A.M. Espectrorradiometria de solos e comparação com sensores orbitais. **Bragantia**, Campinas: v. 71, n. 1, p.82-89, 2012.

HENGQIAN, Z.; LIFU, Z. A New Method of Continuum Removal for Mixing Spectral Analysis, 2013.

HUERTAS, F.J, FIORE, S., HUERTAS, F., LINARES, J., Experimental study of the hydrothermal formation of kaolinite. **Chemical Geology** 156, 171–190. 1999.

HUNT, G. R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared. **Geophysics**, V. 42. N. 3 p. 501-511, 1977

IBGE. **Geociências: Informações ambientais, Pedologia Escala 250 mil**. Disponível em: << https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm>> Acesso em 30/11/18.

IGE. **Biblioteca Espectral de Minerais e de Depósitos Bauxíticos Brasileiros**. Disponível em: << <http://www.ige.unicamp.br/espectrobauxita/minerais.html>>> Acesso em 21/03/19.

ISLAM, K.; SINGH, B.; MCBRATNEY, A. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. **Australian Journal of Soil Research**, 41, 1101–1114, 2003.

LIRA, S.A.; NETO, A.C. Coeficientes de correlação para variáveis ordinárias e dicotômicas derivados do coeficiente linear de Pearson. **RECIE: Uberlândia**, v. 15, n. 1/2, p. 45-53, jan.-dez. 2006.

MAPLES, M.P.; REICHART, D.E.; BERGER, T.A.; TROTTER, A.S.; MARTIN, J.R.; PAGGEN, M.L.; JOYNER, R.E.; SALEMI, C.P.; DUTTON, D.A. Robust Chauvenet Outlier Rejection. **Astrophysical Journal Supplement Series**, Vol.238(1), p.2, 2018.

MENDES, A.M.S. Aula ministrada no curso de Manejo e Conservação do solo e da Água promovido pela superintendência Federal da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Estado da Bahia – SFA-BA. Barreiras-BA: **UFBA**, 2007.

NASA. **Hiris High resolution Imaging spectrometer: science opportunitles for the 1990s**. Earth Observing System. Volume 2c, 1987.

NAVARRO, G.R.B.; ZANARDO, A.; MONTIBELLER, C.C; LEME, T.G. Livro de referência de Minerais Comuns e Economicamente Relevantes: FILOSSILICATOS. **Museu de Minerais, Minérios e Rochas “Prof. Dr. Heinz Ebert”**, 2017.

ORTIZ, J.O.; **Análise de Risco na fase de Planejamento em Sistemas de Produção Agrícola por meio da Simulação Geoestatística Condicionada**. São José dos Campos-SP: INPE, Tese de doutorado, 2008.

POPPIEL, R.R.; LACERDA, M.P.C.; JUNIOR, M.P.O.; DEMATTÊ, J.A.M.; ROMERO, D.J.; SATO, M.V.; JÚNIOR, L.R.A; CASSOL, L.F.M. Surface Spectroscopy of Oxisols, Entisols and Inceptisol and Relationships with Selected Soil Properties. **Rev. Bras. Cienc Solo**, 42:e016051, 2018.

SANTOS, R.L.; ANDRADE, H.O. Avaliação quantitativa do conforto térmico de uma cidade em área de transição climática: Feira de Santana-Bahia, Brasil. **Revista de Geografia Norte Grande**, 40: 77-84, 2008.

SANTO, S.M.; SILVA, B.C.M.N.; SANTOS, R.L.; FERNANDES, R.B.; População e meio ambiente no umbral do século XXI na cidade de Feira de Santana (Bahia-Brasil). Barcelona: **Rev. Elet. de Geografia y ciencias sociales**. Vol. 17, n. 425, 2013.

SOUSA JUNIOR, J. G. DEMATTÊ, J.A.M. (2); ARAÚJO, S. R. Modelos espectrais terrestres e orbitais na determinação de teores de atributos dos solos: potencial e custos. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p.610-621, 2011

TSG. **What is the Spectral Geologist?**. Disponível em: <<<https://research.csiro.au/thespectralgeologist/tsg/spectral-geologist-tsg/>>> Acesso em 19/12/18.

APÊNDICE 1 – QUÍMICA DE SOLOS

Ponto	X	Y	Z	P (mg/dm ³)	K (cmolC/dm ³)	Ca (cmolC/dm ³)	Mg (cmolC/dm ³)	Na (cmolC/dm ³)
1	503717	8642443	230	3	0,08	0,5	0,57	0,09
2	509136	8642287	230	1	0,05	3,71	3,32	0,26
3	509136	8642287	230	1	0,08	3,18	3,71	0,29
4	509073	8642371	230	1	0,08	1,88	2,51	0,17
5	509375	8644856	302	1	0,05	0,38	0,68	0,16
6	499130	8648737	212	28	0,24	1,9	0,69	0,10
7	500332	8642158	144	15	0,79	4,34	2,53	0,52
8	500796	8641879	230	67	0,36	7,61	4,93	1,09
9	500826	8656968	243	14	0,08	1,37	0,46	0,03
10	496585	8659420	235	14	0,41	2,96	1,15	0,04
11	497027	8659884	236	6	0,12	1,69	1,02	0,14
12	496202	8660288	204	130	1,03	4,96	2,22	0,17
13	495805	8660456	215	98	0,82	4,03	1,49	0,11
14	495628	8660524	218	31	0,08	7,13	3,77	0,30
15	510497	8649309	233	3	0,12	0,73	0,43	0,05
16	512037	8650885	235	9	0,12	0,89	0,62	0,04
17	513516	8652640	211	10	0,28	0,85	0,69	0,13
18	513678	8654269	182	10	0,07	1,61	0,89	0,17
19	511254	8640049	226	4	0,18	0,81	0,18	0,09
20	512355	8639191	227	24	0,15	2,57	0,71	0,07
21	513194	8638548	224	50	0,31	4,48	0,68	0,07
22	514443	8637582	206	37	0,17	2,34	0,41	0,09
23	515705	8636617	222	64	0,26	3,76	0,64	0,08
24	517739	8634956	188	3	0,26	2,8	1,41	0,46

25	498507	8641554	163	414	0,33	7,98	10,73	1,30
26	497060	8640880	177	93	0,19	10,64	6,69	0,28
27	495297	8642139	186	27	0,19	5,99	2,37	0,20
28	493364	8643620	188	215	0,08	3,11	7,28	3,00
29	492249	8644987	204	97	0,19	7,87	2,39	0,45
30	489833	8646791	192	46	0,36	9,24	1,43	0,16
31	481570	8646142	176	360	0,38	7,59	2,84	0,16
32	480344	8644669	191	326	0,15	6,69	1,42	0,05
33	478532	8644193	210	116	0,29	4,01	1,56	0,11
34	476505	8644362	234	69	0,22	2,04	2,03	0,13
35	474428	8644894	234	10	0,21	1,73	0,81	0,07
36	471786	8645976	243	42	0,31	3,16	4,03	0,45
37	490083	8634658	158	61	0,27	6,52	3,14	0,26
38	491643	8636099	142	60	0,30	2,90	0,63	0,17
39	493236	8636974	192	70	0,26	8,88	2,21	0,15
40	493573	8636162	229	19	0,16	3,24	2,62	0,32
41	495436	8634159	139	323	0,31	8,66	3,98	0,16
42	496055	8631987	156	249	0,24	5,37	2,73	0,11
43	495945	8629575	140	249	0,24	5,37	2,73	0,11
44	495282	8638636	141	160	0,9	5,65	1,64	0,06
45	499674	8651240	244	43	0,31	2,35	0,38	0,17
46	498130	8653244	219	30	0,08	3,01	1,05	0,24
47	496730	8654345	217	8,56	0,20	5,30	3,70	0,10
48	494416	8654727	172	50,83	0,40	11,9	1,70	0,30
49	493047	8656134	168	7,26	0,40	2,5	1,00	0,90
50	491866	8658062	171	2,29	0,20	17,1	14,8	0,40
51	490074	8659533	186	101,46	0,20	4,8	2,30	0,70
52	487434	8659877	165	50,61	0,60	3,5	1,60	0,30
53	485208	8660188	196	48,53	0,30	4,7	1,40	0,40

54	482894	8660700	188	28,94	0,40	2,0	1,10	0,30
55	481455	8662269	189	12,45	0,50	3,5	2,50	0,30
56	480020	8664097	210	105,49	5,00	14,9	5,00	1,00
57	478396	8665932	198	99,73	0,40	4,2	2,40	0,30
58	476838	8667557	207	92,53	0,10	4,5	2,30	0,80
59	475169	8669536	218	80,93	0,60	5,1	2,70	0,40
60	474016	8672103	211	10,0	0,30	3,2	1,40	0,40
61	472047	8674617	208	15,11	1,00	4,6	2,00	0,50
62	503409	8660390	254	1,57	0,20	0,7	0,50	0,10
63	503351	8662629	256	1,43	0,20	1,0	0,55	0,10
64	503294	8665159	249	0,99	1,40	3,0	1,50	0,30
65	505602	8667670	243	58,1	0,20	2,5	1,70	0,30
66	508027	8667982	254	54,72	0,30	1,4	0,60	0,30
67	509222	8667665	227	77,62	0,70	4,3	2,30	0,70
68	510946	8667763	206	1,43	0,20	2,8	1,30	0,20
69	503267	8667616	233	2,15	0,80	2,5	1,50	0,30
70	503187	8670558	268	0,71	0,10	1,0	0,60	0,10
71	503742	8653095	245	3,59	0,50	5,6	2,60	0,20
72	503823	8656218	239	1,43	0,20	3,7	1,40	0,10
73	506586	8655676	237	1,43	0,20	3,0	1,90	1,10
74	508880	8644662	221	1,64	0,20	1,2	0,60	0,10

APÊNDICE 2 – REFLECTÂNCIA

Ponto	X	Y	500	600	950	1400	1900	2205	2300	2380	2445
P01	503718	8642443	0.202667	0.253306	0.356368	0.357192	0.39551	0.40586	0.44117	0.4394	0.43206
P02A	509136	8642288	0.108526	0.20674	0.353538	0.319433	0.28703	0.18123	0.24336	0.18757	0.16124
P02B	509136	8642288	0.178677	0.314685	0.427941	0.380023	0.34293	0.23761	0.30889	0.24743	0.2156
P03	509073	8642372	0.075021	0.181751	0.291709	0.338029	0.33809	0.22901	0.29126	0.24195	0.21783
P04	509375	8644857	0.130157	0.19838	0.353064	0.372282	0.43346	0.3488	0.42599	0.38201	0.36154
P05	499130	8648738	0.197169	0.261688	0.381001	0.393185	0.40999	0.4187	0.44801	0.44657	0.43724
P06	500332	8642159	0.105382	0.15203	0.310932	0.395615	0.41233	0.41841	0.43517	0.42782	0.41103
P07	500796	8641880	0.11598	0.144963	0.3012	0.351965	0.3321	0.3533	0.3657	0.35176	0.32953
P072	500826	8656968	0.129742	0.190901	0.320302	0.371162	0.42864	0.38602	0.44654	0.41993	0.40549
P08	496585	8659420	0.119027	0.178603	0.307085	0.338803	0.36877	0.32108	0.36841	0.34279	0.32336
P09	497027	8659884	0.124968	0.170543	0.349584	0.394067	0.4192	0.42355	0.45268	0.44608	0.42987
P10	496202	8660288	0.113008	0.174117	0.435186	0.57398	0.57396	0.57995	0.59635	0.57881	0.54586
P11	495805	8660456	0.129173	0.175454	0.35533	0.409743	0.41793	0.43741	0.45477	0.45146	0.43514
P12	495628	8660524	0.169319	0.240827	0.426794	0.46653	0.45734	0.49232	0.49288	0.48767	0.46654
P13	510497	8649309	0.15884	0.259429	0.389553	0.422458	0.47727	0.37627	0.45652	0.40895	0.38843
P14	512037	8650885	0.153128	0.227355	0.432109	0.494228	0.53709	0.47084	0.53219	0.49951	0.47809
P15	513516	8652640	0.21741	0.317226	0.519366	0.606329	0.61877	0.61037	0.63975	0.62476	0.60225
P16	513678	8654269	0.178829	0.284665	0.368588	0.395427	0.38605	0.38176	0.40854	0.39004	0.37033
P17	511254	8640049	0.117083	0.156321	0.254663	0.266173	0.31805	0.31778	0.3626	0.35204	0.34423
P18	512355	8639191	0.141342	0.180665	0.237309	0.25749	0.28579	0.26181	0.2951	0.2825	0.27488
P19	513194	8638548	0.133392	0.205865	0.299434	0.33546	0.36237	0.31998	0.3597	0.33884	0.3236

P20	514443	8637582	0.167542	0.206563	0.288563	0.306133	0.34432	0.32662	0.36753	0.35109	0.33757
P21	515705	8636617	0.123372	0.170475	0.257477	0.292942	0.30931	0.29834	0.31902	0.31118	0.30101
P22	517739	8634956	0.124148	0.227731	0.247207	0.253501	0.27602	0.19508	0.2501	0.21058	0.19186
P23	498507	8641554	0.102418	0.173063	0.24738	0.310521	0.25924	0.33109	0.29426	0.28538	0.26459
P24	497060	8640880	0.095455	0.155914	0.266526	0.31535	0.27089	0.31388	0.30471	0.28765	0.26358
P25	495297	8642139	0.073392	0.107109	0.225846	0.273786	0.273	0.28042	0.29103	0.28233	0.26655
P26	493364	8643620	0.123167	0.207928	0.325444	0.370656	0.33074	0.34969	0.35674	0.3303	0.30326
P27	492249	8644987	0.12105	0.170628	0.310466	0.385949	0.39987	0.42643	0.43347	0.4295	0.41337
P28	489833	8646791	0.104809	0.138015	0.267846	0.324928	0.32685	0.33445	0.33786	0.33383	0.31833
P29	481570	8646142	0.113407	0.156018	0.298936	0.372299	0.37623	0.40706	0.40799	0.40204	0.38338
P30	480344	8644669	0.142842	0.196082	0.378028	0.448175	0.446	0.47124	0.47643	0.47025	0.44787
P32	476505	8644362	0.142856	0.191311	0.353298	0.420258	0.42887	0.44709	0.45285	0.45135	0.43554
P33	474428	8644894	0.219595	0.274848	0.477925	0.518127	0.5238	0.53203	0.55886	0.5528	0.53326
P34	471786	8645976	0.138969	0.208011	0.333056	0.410198	0.34374	0.39497	0.39977	0.38632	0.3621
P35	490083	8634658	0.105305	0.174094	0.337179	0.42286	0.4029	0.42246	0.43016	0.41931	0.39661
P36	491643	8636099	0.14298	0.194744	0.281793	0.320984	0.3165	0.34316	0.34656	0.33877	0.3249
P37	493236	8636974	0.187404	0.252264	0.377697	0.408869	0.38132	0.40488	0.40843	0.39943	0.37925
P38	493573	8636162	0.143165	0.204793	0.430234	0.485447	0.4689	0.47494	0.49902	0.48344	0.45679
P39	495436	8634159	0.091602	0.154637	0.256214	0.308396	0.28599	0.31472	0.31851	0.30446	0.28441
P40	496055	8631987	0.119321	0.183989	0.3423	0.397775	0.36263	0.39631	0.39744	0.38517	0.35993
P42	495282	8638636	0.086855	0.112793	0.201595	0.249863	0.2601	0.27029	0.27354	0.27305	0.26316
P50	499674	8651240	0.171204	0.237313	0.329956	0.361251	0.38678	0.38676	0.41882	0.41125	0.40086
P51	498130	8653244	0.167052	0.229092	0.408449	0.440038	0.44184	0.46496	0.49107	0.4822	0.46194
P52	496730	8654345	0.165892	0.195127	0.260283	0.259927	0.29644	0.31908	0.34968	0.34968	0.34613
P53	494416	8654727	0.049197	0.084313	0.220969	0.2959	0.27086	0.29845	0.30272	0.28404	0.25941
P54	493047	8656134	0.128244	0.180198	0.352133	0.383781	0.39336	0.41438	0.4351	0.4328	0.42278
P55	491866	8658062	0.050797	0.068531	0.145787	0.173188	0.15362	0.17619	0.17665	0.16733	0.15288

P56	490074	8659533	0.098155	0.149849	0.332464	0.412824	0.40777	0.41945	0.43831	0.4221	0.39827
P57	487434	8659877	0.104594	0.174642	0.330182	0.397885	0.38484	0.40461	0.41189	0.40101	0.38156
P58	485208	8660188	0.13392	0.184521	0.259066	0.292995	0.24586	0.31287	0.30183	0.28443	0.25969
P59	482894	8660700	0.082674	0.138105	0.266787	0.336734	0.31143	0.3403	0.34043	0.33458	0.31864
P60	481455	8662269	0.097729	0.148727	0.282331	0.331583	0.29223	0.32162	0.31991	0.30624	0.28569
P61	480020	8664097	0.104357	0.162727	0.297024	0.35275	0.33517	0.3617	0.37498	0.36792	0.3505
P62	478396	8665932	0.105394	0.176207	0.294194	0.344671	0.32148	0.35729	0.36203	0.35516	0.3378
P63	476838	8667557	0.106742	0.153462	0.300249	0.33728	0.31455	0.3412	0.35375	0.34513	0.32801
P64	475169	8669536	0.085037	0.130203	0.334367	0.388803	0.37609	0.39944	0.41051	0.40127	0.38051
P65	474016	8672103	0.087755	0.129364	0.289298	0.332894	0.32538	0.35234	0.36564	0.3569	0.3408
P66	472047	8674617	0.076794	0.107275	0.256517	0.311094	0.31408	0.33518	0.35258	0.34583	0.33183
P67	503409	8660390	0.105298	0.168662	0.316859	0.359837	0.41644	0.32614	0.39907	0.35775	0.33947
P68	503351	8662629	0.076696	0.122568	0.270275	0.320314	0.36477	0.29834	0.3592	0.32556	0.30845
P69	503294	8665159	0.101299	0.192356	0.294194	0.343794	0.38465	0.30461	0.36517	0.32608	0.30405
P70	505602	8667670	0.070292	0.125937	0.271062	0.328402	0.29744	0.28919	0.30842	0.27839	0.25142
P71	508027	8667982	0.105241	0.183174	0.336951	0.373566	0.39379	0.30423	0.36478	0.32385	0.30464
P72	509222	8667665	0.101084	0.161939	0.356586	0.454931	0.43452	0.44077	0.4567	0.43041	0.39938
P73	510946	8667763	0.075203	0.101536	0.128082	0.145244	0.15297	0.16248	0.16674	0.1671	0.16481
P74	503267	8667616	0.060708	0.097837	0.241835	0.289867	0.29373	0.28533	0.31284	0.29571	0.27944
P75	503187	8670558	0.081412	0.129951	0.273615	0.316224	0.34281	0.27272	0.32289	0.29129	0.2773
P78	503742	8653095	0.091456	0.126222	0.244322	0.300724	0.32926	0.30162	0.33762	0.31891	0.30543
R04	506586	8655676	0.095447	0.109345	0.206731	0.250153	0.23643	0.24358	0.27478	0.25523	0.22873
R05	508880	8644662	0.137381	0.168188	0.256311	0.260902	0.27199	0.28043	0.31346	0.30333	0.28778

APÊNDICE 3 – CONTÍNUO REMOVIDO

Ponto	X	Y	500	600	950	1400	1900	2205	2300	2380	2445
P01	503718	8642443	0.20267	0.25331	0.356368	0.357192	0.39551	0.405858	0.441165	0.4394	0.43206
P02A	509136	8642288	0.10673	0.19555	0.338422	0.308306	0.27682	0.178289	0.237778	0.18389	0.15787
P02B	509136	8642288	0.15373	0.2687	0.391822	0.332848	0.29886	0.204352	0.265045	0.21149	0.18505
P03	509073	8642372	0.06324	0.13985	0.220893	0.24977	0.24669	0.158119	0.20649	0.1665	0.14793
P04	509375	8644857	0.13872	0.21097	0.379233	0.399072	0.46241	0.37973	0.461034	0.41687	0.39617
P05	499130	8648738	0.18468	0.24523	0.357551	0.367584	0.38581	0.39384	0.422454	0.42045	0.41228
P06	500332	8642159	0.11121	0.16108	0.340638	0.433662	0.44566	0.450076	0.464781	0.45759	0.43701
P07	500796	8641880	0.11293	0.14091	0.288406	0.332722	0.31011	0.329665	0.341381	0.32669	0.30505
P072	500826	8656968	0.12974	0.1909	0.320302	0.371162	0.42864	0.386017	0.446538	0.41993	0.40549
P08	496585	8659420	0.11903	0.1786	0.307085	0.338803	0.36877	0.321081	0.368408	0.34279	0.32336
P09	497027	8659884	0.12497	0.17054	0.349584	0.394067	0.4192	0.423549	0.45268	0.44608	0.42987
P10	496202	8660288	0.10086	0.15496	0.38296	0.502588	0.50074	0.504705	0.520507	0.50452	0.4762
P11	495805	8660456	0.12917	0.17545	0.35533	0.409743	0.41793	0.437407	0.454773	0.45146	0.43514
P12	495628	8660524	0.16932	0.24083	0.426794	0.46653	0.45734	0.492319	0.492882	0.48767	0.46654
P13	510497	8649309	0.16902	0.27363	0.403652	0.434904	0.49125	0.389704	0.471493	0.42408	0.40445
P14	512037	8650885	0.15548	0.23118	0.437957	0.50094	0.54792	0.480932	0.544897	0.51168	0.49095
P15	513516	8652640	0.21741	0.31723	0.519366	0.606329	0.61877	0.610365	0.639746	0.62476	0.60225
P16	513678	8654269	0.17883	0.28467	0.368588	0.395427	0.38605	0.381763	0.408538	0.39004	0.37033
P17	511254	8640049	0.11519	0.15576	0.257949	0.269621	0.31725	0.315063	0.360542	0.34741	0.33817
P18	512355	8639191	0.14134	0.18067	0.237309	0.25749	0.28579	0.261809	0.295099	0.2825	0.27488
P19	513194	8638548	0.13339	0.20587	0.299434	0.33546	0.36237	0.319983	0.359698	0.33884	0.3236
P20	514443	8637582	0.16754	0.20656	0.288563	0.306133	0.34432	0.326624	0.36753	0.35109	0.33757

P21	515705	8636617	0.12337	0.17048	0.257477	0.292942	0.30931	0.298343	0.319018	0.31118	0.30101
P22	517739	8634956	0.12415	0.22773	0.247207	0.253501	0.27602	0.195084	0.250099	0.21058	0.19186
P23	498507	8641554	0.10242	0.17306	0.24738	0.310521	0.25924	0.331086	0.294258	0.28538	0.26459
P24	497060	8640880	0.09546	0.15591	0.266526	0.31535	0.27089	0.313882	0.304705	0.28765	0.26358
P25	495297	8642139	0.07339	0.10711	0.225846	0.273786	0.273	0.280417	0.291033	0.28233	0.26655
P26	493364	8643620	0.11453	0.19107	0.295367	0.335837	0.30559	0.327489	0.331116	0.30749	0.28265
P27	492249	8644987	0.12105	0.17063	0.310466	0.385949	0.39987	0.426429	0.433467	0.4295	0.41337
P28	489833	8646791	0.10481	0.13802	0.267846	0.324928	0.32685	0.334445	0.337856	0.33383	0.31833
P29	481570	8646142	0.11341	0.15602	0.298936	0.372299	0.37623	0.40706	0.407985	0.40204	0.38338
P30	480344	8644669	0.14284	0.19608	0.378028	0.448175	0.446	0.471241	0.476434	0.47025	0.44787
P32	476505	8644362	0.12577	0.20916	0.285295	0.353236	0.30975	0.349462	0.349902	0.34398	0.32903
P33	474428	8644894	0.22862	0.28494	0.492232	0.532687	0.5387	0.546794	0.574604	0.5683	0.54879
P34	471786	8645976	0.12604	0.18639	0.305667	0.372738	0.31218	0.357954	0.361098	0.34729	0.32397
P35	490083	8634658	0.10531	0.17409	0.337179	0.42286	0.4029	0.422457	0.430164	0.41931	0.39661
P36	491643	8636099	0.14298	0.19474	0.281793	0.320984	0.3165	0.343155	0.346556	0.33877	0.3249
P37	493236	8636974	0.1874	0.25226	0.377697	0.408869	0.38132	0.404879	0.408434	0.39943	0.37925
P38	493573	8636162	0.14317	0.20479	0.430234	0.485447	0.4689	0.47494	0.499021	0.48344	0.45679
P39	495436	8634159	0.0916	0.15464	0.256214	0.308396	0.28599	0.314722	0.318512	0.30446	0.28441
P40	496055	8631987	0.11932	0.18399	0.3423	0.397775	0.36263	0.396311	0.397442	0.38517	0.35993
P42	495282	8638636	0.08686	0.11279	0.201595	0.249863	0.2601	0.270289	0.273541	0.27305	0.26316
P50	499674	8651240	0.17172	0.23775	0.330297	0.361846	0.38783	0.387662	0.419507	0.41213	0.40171
P51	498130	8653244	0.16705	0.22909	0.408449	0.440038	0.44184	0.464957	0.49107	0.4822	0.46194
P52	496730	8654345	0.16786	0.19747	0.263092	0.262564	0.29955	0.321523	0.351699	0.35233	0.34911
P53	494416	8654727	0.0492	0.08431	0.220969	0.2959	0.27086	0.298452	0.30272	0.28404	0.25941
P54	493047	8656134	0.13192	0.18561	0.365518	0.395695	0.40127	0.422819	0.443009	0.44008	0.42855
P55	491866	8658062	0.0509	0.06868	0.146484	0.174394	0.15573	0.178253	0.178176	0.1694	0.15592
P56	490074	8659533	0.09695	0.14782	0.328759	0.414853	0.4167	0.4287	0.448088	0.432	0.40938

P57	487434	8659877	0.10568	0.17712	0.33185	0.397821	0.38743	0.403922	0.412544	0.40128	0.38196
P58	485208	8660188	0.13392	0.18452	0.259066	0.292995	0.24586	0.312865	0.301834	0.28443	0.25969
P59	482894	8660700	0.08267	0.13811	0.266787	0.336734	0.31143	0.340296	0.340433	0.33458	0.31864
P60	481455	8662269	0.09773	0.14873	0.282331	0.331583	0.29223	0.321621	0.319906	0.30624	0.28569
P61	480020	8664097	0.10436	0.16273	0.297024	0.35275	0.33517	0.361703	0.37498	0.36792	0.3505
P62	478396	8665932	0.10539	0.17621	0.294194	0.344671	0.32148	0.35729	0.362031	0.35516	0.3378
P63	476838	8667557	0.11169	0.16053	0.313515	0.350536	0.33216	0.358406	0.372375	0.36419	0.34741
P64	475169	8669536	0.07455	0.11365	0.289177	0.343354	0.32871	0.348613	0.357795	0.3495	0.33193
P65	474016	8672103	0.08821	0.12974	0.289401	0.331662	0.3247	0.350757	0.365735	0.35727	0.34196
P66	472047	8674617	0.07897	0.11054	0.265485	0.320606	0.31862	0.344261	0.362134	0.35367	0.33808
P67	503409	8660390	0.1053	0.16866	0.316859	0.359837	0.41644	0.326138	0.399067	0.35775	0.33947
P68	503351	8662629	0.08122	0.13056	0.289085	0.343109	0.39195	0.31923	0.38466	0.34869	0.33003
P69	503294	8665159	0.10395	0.19822	0.301257	0.353937	0.40029	0.320505	0.384982	0.34591	0.32365
P70	505602	8667670	0.06844	0.1209	0.258308	0.309108	0.28345	0.275435	0.295887	0.26696	0.24166
P71	508027	8667982	0.09576	0.16657	0.309695	0.347997	0.36853	0.284399	0.341017	0.30317	0.2857
P72	509222	8667665	0.10108	0.16194	0.356586	0.454931	0.43452	0.440774	0.456701	0.43041	0.39938
P73	510946	8667763	0.07556	0.1022	0.129093	0.146444	0.15444	0.163854	0.168231	0.16858	0.16637
P74	503267	8667616	0.06071	0.09784	0.241835	0.289867	0.29373	0.285325	0.312841	0.29571	0.27944
P75	503187	8670558	0.08051	0.12859	0.270916	0.311601	0.33328	0.262075	0.312634	0.27856	0.26286
P78	503742	8653095	0.09146	0.12622	0.244322	0.300724	0.32926	0.301616	0.337624	0.31891	0.30543
R04	506586	8655676	0.10228	0.11614	0.217021	0.262269	0.24599	0.253873	0.287216	0.26619	0.23809
R05	508880	8644662	0.13738	0.16819	0.256311	0.260902	0.27199	0.280428	0.313463	0.30333	0.28778

APÊNDICE 4 – PROFUNDIDADE DE FEIÇÃO

Ponto	X	Y	500	600	950	1400	1900	2205	2300	2380	2445
P01	503718	8642443	0.79733	0.74669	0.643632	0.642808	0.60449	0.59414	0.55884	0.5606	0.56794
P02A	509136	8642288	0.89327	0.80445	0.661578	0.691694	0.72318	0.82171	0.76222	0.8161	0.84213
P02B	509136	8642288	0.84627	0.73131	0.608178	0.667152	0.70114	0.79565	0.73496	0.7885	0.81495
P03	509073	8642372	0.93676	0.86015	0.779107	0.75023	0.75331	0.84188	0.79351	0.8335	0.85207
P04	509375	8644857	0.86128	0.78904	0.620767	0.600928	0.53759	0.62027	0.53897	0.5831	0.60383
P05	499130	8648738	0.81532	0.75478	0.642449	0.632416	0.61419	0.60616	0.57755	0.5796	0.58772
P06	500332	8642159	0.88879	0.83892	0.659362	0.566338	0.55434	0.54992	0.53522	0.5424	0.56299
P07	500796	8641880	0.88707	0.85909	0.711594	0.667278	0.68989	0.67034	0.65862	0.6733	0.69495
P072	500826	8656968	0.87026	0.8091	0.679698	0.628838	0.57136	0.61398	0.55346	0.5801	0.59451
P08	496585	8659420	0.88097	0.8214	0.692915	0.661197	0.63124	0.67892	0.63159	0.6572	0.67664
P09	497027	8659884	0.87503	0.82946	0.650416	0.605933	0.5808	0.57645	0.54732	0.5539	0.57014
P10	496202	8660288	0.89914	0.84505	0.61704	0.497412	0.49927	0.4953	0.47949	0.4955	0.5238
P11	495805	8660456	0.87083	0.82455	0.64467	0.590257	0.58207	0.56259	0.54523	0.5485	0.56486
P12	495628	8660524	0.83068	0.75917	0.573206	0.53347	0.54266	0.50768	0.50712	0.5123	0.53346
P13	510497	8649309	0.83098	0.72637	0.596348	0.565096	0.50875	0.6103	0.52851	0.5759	0.59555
P14	512037	8650885	0.84452	0.76882	0.562043	0.49906	0.45208	0.51907	0.4551	0.4883	0.50905
P15	513516	8652640	0.78259	0.68277	0.480634	0.393671	0.38124	0.38964	0.36025	0.3752	0.39775
P16	513678	8654269	0.82117	0.71534	0.631412	0.604573	0.61396	0.61824	0.59146	0.6100	0.62967
P17	511254	8640049	0.88481	0.84424	0.742051	0.730379	0.68275	0.68494	0.63946	0.6526	0.66183
P18	512355	8639191	0.85866	0.81934	0.762691	0.74251	0.71421	0.73819	0.7049	0.7175	0.72512
P19	513194	8638548	0.86661	0.79414	0.700566	0.66454	0.63763	0.68002	0.6403	0.6612	0.6764
P20	514443	8637582	0.83246	0.79344	0.711437	0.693867	0.65568	0.67338	0.63247	0.6489	0.66244

P21	515705	8636617	0.87663	0.82953	0.742523	0.707058	0.69069	0.70166	0.68098	0.6888	0.69899
P22	517739	8634956	0.87585	0.77227	0.752793	0.746499	0.72398	0.80492	0.7499	0.7894	0.80814
P23	498507	8641554	0.89758	0.82694	0.75262	0.689479	0.74076	0.66891	0.70574	0.7146	0.73541
P24	497060	8640880	0.90455	0.84409	0.733474	0.68465	0.72911	0.68612	0.6953	0.7124	0.73642
P25	495297	8642139	0.92661	0.89289	0.774154	0.726214	0.727	0.71958	0.70897	0.7177	0.73345
P26	493364	8643620	0.88547	0.80894	0.704633	0.664163	0.69441	0.67251	0.66888	0.6925	0.71735
P27	492249	8644987	0.87895	0.82937	0.689534	0.614051	0.60013	0.57357	0.56653	0.5705	0.58663
P28	489833	8646791	0.89519	0.86199	0.732154	0.675072	0.67315	0.66556	0.66214	0.6662	0.68167
P29	481570	8646142	0.88659	0.84398	0.701064	0.627701	0.62377	0.59294	0.59202	0.5980	0.61662
P30	480344	8644669	0.85716	0.80392	0.621972	0.551825	0.554	0.52876	0.52357	0.5298	0.55213
P32	476505	8644362	0.87423	0.79084	0.714705	0.646764	0.69025	0.65054	0.6501	0.6560	0.67097
P33	474428	8644894	0.77139	0.71506	0.507768	0.467313	0.46131	0.45321	0.4254	0.4317	0.45121
P34	471786	8645976	0.87396	0.81361	0.694333	0.627262	0.68782	0.64205	0.6389	0.6527	0.67603
P35	490083	8634658	0.8947	0.82591	0.662821	0.57714	0.5971	0.57754	0.56984	0.5807	0.60339
P36	491643	8636099	0.85702	0.80526	0.718207	0.679016	0.6835	0.65685	0.65344	0.6612	0.6751
P37	493236	8636974	0.8126	0.74774	0.622303	0.591131	0.61868	0.59512	0.59157	0.6006	0.62076
P38	493573	8636162	0.85684	0.79521	0.569766	0.514553	0.5311	0.52506	0.50098	0.5166	0.54321
P39	495436	8634159	0.9084	0.84536	0.743786	0.691604	0.71401	0.68528	0.68149	0.6955	0.71559
P40	496055	8631987	0.88068	0.81601	0.6577	0.602225	0.63737	0.60369	0.60256	0.6148	0.64007
P42	495282	8638636	0.91315	0.88721	0.798405	0.750137	0.73991	0.72971	0.72646	0.7269	0.73684
P50	499674	8651240	0.82828	0.76225	0.669703	0.638154	0.61217	0.61234	0.58049	0.5879	0.59829
P51	498130	8653244	0.83295	0.77091	0.591551	0.559962	0.55816	0.53504	0.50893	0.5178	0.53807
P52	496730	8654345	0.83214	0.80254	0.736908	0.737436	0.70045	0.67848	0.6483	0.6477	0.6509
P53	494416	8654727	0.9508	0.91569	0.779031	0.7041	0.72914	0.70155	0.69728	0.7160	0.74059
P54	493047	8656134	0.86808	0.81439	0.634482	0.604305	0.59873	0.57718	0.55699	0.5599	0.57145
P55	491866	8658062	0.9491	0.93132	0.853516	0.825606	0.84427	0.82175	0.82182	0.8306	0.84408
P56	490074	8659533	0.90305	0.85218	0.671241	0.585147	0.5833	0.5713	0.55191	0.5680	0.59062

P57	487434	8659877	0.89432	0.82288	0.66815	0.602179	0.61257	0.59608	0.58746	0.5987	0.61804
P58	485208	8660188	0.86608	0.81548	0.740934	0.707005	0.75414	0.68714	0.69817	0.7156	0.74031
P59	482894	8660700	0.91733	0.8619	0.733213	0.663266	0.68857	0.6597	0.65957	0.6654	0.68136
P60	481455	8662269	0.90227	0.85127	0.717669	0.668417	0.70777	0.67838	0.68009	0.6938	0.71431
P61	480020	8664097	0.89564	0.83727	0.702976	0.64725	0.66483	0.6383	0.62502	0.6321	0.6495
P62	478396	8665932	0.89461	0.82379	0.705806	0.655329	0.67852	0.64271	0.63797	0.6448	0.6622
P63	476838	8667557	0.88831	0.83947	0.686485	0.668417	0.66784	0.64159	0.62763	0.6358	0.65259
P64	475169	8669536	0.92545	0.88635	0.710823	0.649464	0.67129	0.65139	0.64221	0.6505	0.66807
P65	474016	8672103	0.91179	0.87026	0.710599	0.656646	0.6753	0.64924	0.63427	0.6427	0.65804
P66	472047	8674617	0.92103	0.88946	0.734515	0.668338	0.68138	0.65574	0.63787	0.6463	0.66192
P67	503409	8660390	0.8947	0.83134	0.683141	0.640163	0.58356	0.67386	0.60093	0.6423	0.66053
P68	503351	8662629	0.91878	0.86944	0.710915	0.656891	0.60805	0.68077	0.61534	0.6513	0.66997
P69	503294	8665159	0.89605	0.80178	0.698743	0.646063	0.59971	0.6795	0.61502	0.6541	0.67635
P70	505602	8667670	0.93156	0.8791	0.741692	0.690892	0.71655	0.72457	0.70411	0.7330	0.75834
P71	508027	8667982	0.90424	0.83344	0.690305	0.652003	0.63147	0.7156	0.65898	0.6968	0.7143
P72	509222	8667665	0.89892	0.83806	0.643414	0.545069	0.56548	0.55923	0.5433	0.5696	0.56959
P73	510946	8667763	0.92444	0.89781	0.870907	0.853556	0.84556	0.83615	0.83177	0.8314	0.83143
P74	503267	8667616	0.93929	0.90216	0.758165	0.710133	0.70627	0.71468	0.68716	0.7043	0.72056
P75	503187	8670558	0.91949	0.87141	0.729084	0.688399	0.66672	0.73793	0.68737	0.7214	0.73714
P78	503742	8653095	0.90854	0.87378	0.755678	0.699276	0.67075	0.69838	0.66238	0.6811	0.69458
R04	506586	8655676	0.89772	0.88386	0.782979	0.289867	0.29373	0.74613	0.31284	0.3032	0.76191
R05	508880	8644662	0.86262	0.83181	0.743689	0.311601	0.33328	0.71957	0.31263	0.4304	0.71222