

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E AMBIENTAIS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

GABRIEL DE ALMEIDA NARVAES

**SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DE SOLOS BRASILEIROS: INFLUÊNCIA DOS
FATORES EDAFOCLIMÁTICOS E POTENCIALIDADE PARA USO COMO
MARCADOR AMBIENTAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2019

GABRIEL DE ALMEIDA NARVAES

**SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DE SOLOS BRASILEIROS: INFLUÊNCIA DOS
FATORES EDAFOCLIMÁTICOS E POTENCIALIDADE PARA USO COMO
MARCADOR AMBIENTAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr^a. Giovana Clarice Poggere

MEDIANEIRA

2019



TERMO DE APROVAÇÃO

SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA DE SOLOS BRASILEIROS: INFLUÊNCIA DOS FATORES EDAFOCLIMÁTICOS E POTENCIALIDADE PARA USO COMO MARCADOR AMBIENTAL

Por

Gabriel de Almeida Narvaes

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 14:00 h do dia 05 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel no Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^ª. Dra. Giovana Clarice Poggere
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Orientadora)

Prof. Dr. Vanderlei Leopold Magalhães
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Prof. M.Sc. Felipe Martins Damaceno
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Convidado)

Prof. Dr. Eduardo Eyng
UTFPR – Câmpus Medianeira
(Responsável pelas atividades de TCC)

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na coordenação do curso -

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer à Deus, pela minha vida, pela oportunidade de estudar em uma Universidade Tecnológica Federal, com ótimos profissionais.

Agradeço a minha família por todo apoio, incentivo e confiança, especialmente minha mãe Andreia Caetano de Almeida Martins, meu pai Marcio Carlos Narvaes, meu padrasto Decio Martins da Silva, minha madrasta Maria Elizia Miranda Narvaes, e meus irmãos Isabelli Miranda Narvaes e Pedro Henrique de Almeida Martins.

A minha namorada Miriam de Oliveira Sawczuk, por todos momentos de apoio e força durante os anos de estudos.

Aos meus amigos de universidade, em especial: Ana Maria Refati de Araujo, Bárbara Elisa Rauber Strieder, Christian Costa Schmitz, Fabrício Viudes Simonato, Isabela de Souza Araujo, Maurício Pinto de Lima, Sidney Nunes Junior, que me proporcionaram momentos de aprendizado e descontração para superar os momentos difíceis.

Aos meus professores, por compartilhar seus ensinamentos e conhecimento técnico.

A minha orientadora professora Dr^a Giovana Clarice Poggere, por toda paciência, dedicação e aprendizado, sem medir esforços, me ajudando a contribuir para o desenvolvimento do presente trabalho.

“Ter desafios é o que faz a vida interessante. Supera-los è o que faz a vida ter sentido” (Josua J. Marine)

RESUMO

NARVAES, Gabriel de Almeida. **Suscetibilidade magnética de solos brasileiros: influência dos fatores edafoclimáticos e potencialidade para uso como marcador ambiental**. 2019, 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

O Brasil é um país tropical, o que acaba exercendo uma grande influência na formação e características dos solos. Os solos mais intemperizados têm forte influência na formação de óxidos de ferro (Fe), que são formados a partir do intemperismo de minerais primários através da liberação dos íons Fe^{2+} , formando minerais secundários na forma oxidada Fe^{3+} . Os minerais que possuem óxidos de Fe que ocorrem com maior frequência no solo são: hematita, maghemita, magnetita e goethita, dos quais maghemita e magnetita apresentam forte atração magnética. A relação entre os compostos de materiais férricos e a sua magnetização é denominada de suscetibilidade magnética. A mesma apresenta vantagens na determinação qualitativa e quantitativa da presença dos óxidos de Fe, por ser uma medida não destrutiva e de fácil obtenção. O objetivo do trabalho foi estabelecer a relação entre suscetibilidade magnética e variáveis edafoclimáticas em solos brasileiros para utilizá-la como ferramenta em estudos ambientais. No presente trabalho foi realizado levantamento de dados nos seguintes sites de busca: Google Acadêmico, Portal da Capes, *Web of Science*, *Scopus* e *Scielo*, para comparar variáveis edafoclimáticas com suscetibilidade magnética de horizontes A e B através de equações de regressão, a fim de obter relações naturais de suscetibilidade magnética para solos brasileiros. Obteve-se valor médio de 17,3 e 25,8 $\times 10^{-6} m^3 kg^{-1}$ suscetibilidade magnética no horizonte A e B respectivamente. As variáveis edafoclimáticas que obtiveram boas correlações (R^2 acima de 0,60) foram Fe_2O_3 ataque sulfúrico (R^2 de 0,7769 e 0,7179 para os horizontes A e B, respectivamente) e Fe extraído por ditionito-citrato-bicarbonato (Fe-DCB) (R^2 de 0,6564 e 0,6182 para os horizontes A e B, respectivamente). Os materiais de origem que apresentaram maior valor de suscetibilidade magnética foram Serpentinólio/Esteatito, seguidos do Basalto e Tufito.

Palavras-chave: Monitoramento Ambiental, Óxidos de Fe, Metanálise.

ABSTRACT

NARVAES, Gabriel de Almeida. **Magnetic susceptibility of Brazilian soils: influence of edaphoclimatic factors and potential for use as environmental marker.** 2019, 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2019.

Brazil is a tropical country, which ends up having a great influence on the formation and characteristics of soils. The most weathered soils have a strong influence on the formation of iron oxides (Fe), which are formed from the weathering of primary minerals through the release of Fe^{2+} ions, forming secondary minerals in the oxidized Fe^{3+} form. The most frequently occurring minerals containing Fe oxides in the soil are hematite, maghemite, magnetite and goethite, of which maghemite and magnetite have strong magnetic attraction. The relationship between ferric material compounds and their magnetization is called magnetic susceptibility. It has advantages in the qualitative and quantitative determination of the presence of Fe oxides, as it is a non destructive and easily obtainable measure. The objective of this work was to establish the relationship between magnetic susceptibility and edaphoclimatic variables in Brazilian soils to use as a tool in environmental studies. In the present work, data were collected from the following search sites: Google Scholar, Capes Portal, Web of Science, Scopus and Scielo, to compare edaphoclimatic variables with magnetic susceptibility of horizons A and B through regression equations, in order to determine the results. to obtain natural magnetic susceptibility ratios for Brazilian soils. We obtained an average value of 17.3 and $25.8 \times 10^{-6} \text{ m}^3\text{kg}^{-1}$ magnetic susceptibility at horizon A and B respectively. The edaphoclimatic variables that obtained good correlations (R^2 above 0.60) were Fe_2O_3 sulfuric attack (R^2 of 0.7676 and 0.7179 for horizons A and B, respectively) and Fe extracted by dithionite-citrate-bicarbonate (Fe- DCB) (R^2 of 0.6564 and 0.6182 for horizons A and B, respectively). The materials of origin that presented the highest magnetic susceptibility value were Serpentinite / Steatite, followed by Basalt and Tufite.

Keywords: Environmental Monitoring, Fe Oxides, Meta-analysis.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	13
2.1 OBJETIVO GERAL	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1 SOLOS NO BRASIL	14
3.2 ÓXIDOS DE FERRO	15
3.2.1 Goethita	16
3.2.2 Hematita	16
3.2.3 Magnetita	17
3.2.4 Maghemita	17
3.3 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA	17
3.4 USO DE METANÁLISES EM ESTUDOS AMBIENTAIS	19
4 MATERIAL E MÉTODOS	20
4.1 LEVANTAMENTO E ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS	20
4.2 ANÁLISE DOS DADOS	20
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
5.1 VISÃO GERAL	22
5.2 REGRESSÕES SIGNIFICATIVAS	24
5.3 RELAÇÕES ENTRE SOLO E MATERIAL DE ORIGEM COM A SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA	27
5 CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação dos Latossolos no Brasil.....	14
Figura 2. Representação de suscetibilidade magnética no solo.....	16
Figura 3. Mapa esquemático do Brasil com destaque para os estados nos quais foram obtidos os dados edafoclimáticos, a partir da literatura.....	22
Figura 4. Regressão entre suscetibilidade magnética e teor de Fe_2O_3 ataque sulfúrico do horizonte A e horizonte B, obtidos a partir de dados da literatura.....	26
Figura 5. Regressão entre suscetibilidade magnética e teor de Fe-DCB do horizonte A e horizonte B, obtidos a partir de dados da literatura.....	27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Valores máximos, médios e mínimos das variáveis edafoclimáticas, obtidos a partir dos dados da literatura. Horizonte A: n = 165; horizonte B: n = 207.....	22
Quadro 2. Valores de R^2 para regressões entre suscetibilidade magnética do solo e variáveis edafoclimáticas obtidas a partir dos dados da literatura. Nd = não determinado.....	24
Quadro 3. Valores máximos, médios e mínimos de suscetibilidade magnética para materiais de origem do horizonte A de solos, obtidos a partir dos dados da literatura.....	26
Quadro 4. Valores máximos, médios e mínimos de suscetibilidade magnética para o horizonte A de solos, obtidos a partir dos dados da literatura.....	27
Quadro 5. Valores máximos, médios e mínimos de suscetibilidade magnética para materiais de origem do horizonte B de solos, obtidos a partir dos dados da literatura.....	27
Quadro 6. Valores máximos, médios e mínimos de suscetibilidade magnética para o horizonte A de solos, obtidos a partir dos dados da literatura.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos solos quanto ao teor de óxido de Ferro.....	14
Tabela 2. Fórmula química dos minerais e presença ou ausência de magnetismo.....	15
Tabela 3. Classificação dos minerais segundo seu caráter magnético, fórmula química, teor de Fe e suscetibilidade magnética (χ).....	17

1 INTRODUÇÃO

Existem diversos índices ambientais para fazer o monitoramento de determinadas áreas e dos possíveis riscos, prevenindo e facilitando as medidas que deverão ser tomadas para evitar os mesmos. O Brasil está, na sua maior parte, situado numa região de clima tropical e isso exerce forte influência sobre a formação e as características dos solos. De maneira geral, esses solos são altamente intemperizados, com expressiva formação de óxidos de Fe (termo inclusivo para óxidos, oxihidróxidos e hidróxidos). No que se refere às propriedades físicas do solo, os óxidos de Fe promovem forte agregação e estruturação, melhorando a infiltração de água e reduzindo a suscetibilidade à erosão. Com relação às características químicas, o interesse se deve a capacidade adsorvente que os óxidos de Fe apresentam, principalmente para elementos na sua forma aniônica, tanto poluentes quanto nutrientes.

Mais recentemente, devido a característica magnética que alguns óxidos de Fe possuem, foi possível o desenvolvimento de estudos relacionados ao monitoramento ambiental de perda de solos e sedimentos e da relação desses óxidos com teores de metais pesados, por exemplo. Encontra-se presente suscetibilidade magnética em determinado mineral ou material quando se é aplicado um campo magnético externo e se tem uma resposta magnética (DEARING, 1999; POGERRE, 2018).

No presente trabalho a suscetibilidade magnética será utilizada como um marcador ambiental para ajudar a separar ambientes. Para isso, serão realizadas correlações entre suscetibilidade magnética dos solos brasileiros e variáveis ambientais como: material de origem, tipo de solo, horizonte do solo, teor de matéria orgânica, teores de outros elementos, mineralogia do solo, textura, temperatura e precipitação do local, declividade, drenagem, entre outros.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer a relação entre suscetibilidade magnética e variáveis edafoclimáticas em solos brasileiros para utilizá-la como ferramenta em estudos ambientais.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Definir variáveis edafoclimáticas relacionadas à suscetibilidade magnética em solos brasileiros, a partir da base de dados existente.

Estabelecer valores naturais de suscetibilidade magnética em solos de acordo com as variáveis edafoclimáticas para utilizá-los como parâmetro em estudos ambientais.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 SOLOS NO BRASIL

O solo é constituído por partes sólidas, líquidas e gasosas, sendo os constituintes minerais predominante na maioria dos solos. De um modo geral, o material de origem, que pode ser a rocha, materiais saprólíticos ou sedimentos inertes, sofrem processos de pedogênese formando o solo em profundidade e seus distintos horizontes (SiBCS, 2013).

O Brasil, por ser um país de clima tropical úmido, as atividades biológicas e os processos pedogenéticos atingem profundidades superiores a 200 cm, formando solos profundos. A combinação entre os fatores de formação do solo (material de origem, clima, organismos, relevo e tempo) e os processos de formação (que podem ser agrupados em adições, perdas, translocações e transformações) é que forma a grande variabilidade de solos (JENNY, 1904).

O Brasil é um país de grande extensão territorial e, por isso, apresenta grande variabilidade de solo. Em termos de classe de solo, os Latossolos dominam cerca de 41% de todo território brasileiro (KER, 1997) (Figura 1).

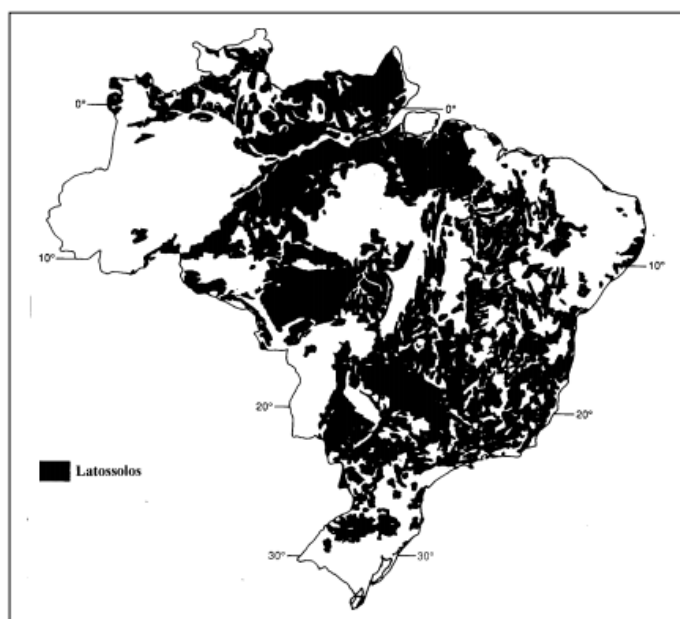


Figura 1 - Representação dos Latossolos no Brasil.

Fonte: CAMARGO et al. (1986).

Em ambientes tropicais como o Brasil, os processos de intemperismo-

lixiviação são bastante intensos, o que proporciona a formação de significativas quantidades de óxidos de Fe (CURI, 2016).

3.2 ÓXIDOS DE FERRO

O Fe é o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre. Nas rochas, pode-se encontrar em diversos minerais primários, como olivina, piroxênio, anfibólio, biotita, magnetita, entre outros, na forma de Fe^{2+} . A partir do intemperismo dos minerais primários, faz-se a liberação dos íons Fe^{2+} que formam novos minerais no solo (minerais secundários), nos quais o Fe está na forma oxidada (Fe^{3+}) (CAMÊLO, 2013).

Os óxidos são minerais comuns nos solos intemperizados e podem ser encontrados em pequenas ou grandes quantidades. Os solos que foram submetidos a intensos intemperismos-lixiviação, refletem no ambiente por meio da mineralogia da fração de argila presente no solo (CURI, 2016).

A denominação de óxidos de Fe constitui, além dos óxidos, os hidróxidos e os oxihidroxidos. O caráter magnético pode ser originado da presença de minerais que possuem Fe. Tal caráter é perceptível campo por meio de um ímã de bolso (magnetização espontânea). As propriedades de cada átomo e molécula e suas interações podem propiciar propriedades magnéticas quando aplicado um campo magnético externo (CURI, 2016).

Existe a possibilidade de uma melhor separação das classes de solo, em níveis inferiores do sistema de classificação de solos brasileiro, devido ao teor de óxidos de ferro (SiBCS, 2013). Considerando esse teor, na Tabela 1 é apresentado o tipo de solo relacionado com o teor de óxidos de Fe.

Tabela 1: Classificação dos solos quanto ao teor de óxido de Ferro

Tipo de solo	Intervalo (gkg^{-1})	Teor de óxido de Fe
Hipoférrico	< 80	Baixo
Mesoférrico	80 – 180	Médio
Férrico	180 – 360	Alto
Perférrico	> 360	Muito Alto

Fonte: Adaptado de SiBCS (2018).

Apenas 12 dos 15 óxidos que já foram identificados ocorrem naturalmente,

sendo que 8 são de interesse da ciência do solo, geologia e mineralogia. Os óxidos de ocorrência mais comum nos solos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Fórmula química dos minerais e presença ou ausência de magnetismo.

Mineral	Fórmula Química	Apresenta magnetismo
	Óxidos	
Hematita	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$	
Maghemita	$\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$	X
Magnetita	Fe_3O_4	X
	Oxihidroxidos	
Goethita	$\alpha\text{-FeOOH}$	

Fonte: COSTA et al., (2009).

Existe a presença de magnetismo em ambos os minerais apresentados na Tabela 2, porém os minerais hematita e goethita apresentam valores muito baixos, não sendo significativo. Isso ocorre devido suas estruturas, onde os *spins* presentes na desses minerais estão emparelhados, enquanto nos minerais maghemita e magnetita os *spins* estão desemparelhados, por esse motivo o caráter magnético da meghemita e magnetita são maiores, apresentando assim valores significativos de magnetismo (POGGERE et al., 2018).

3.2.1 Goethita

A ocorrência em quase todos ambientes pedogênicos torna a goethita o mineral mais comum dos óxidos de Fe. Em solos formados através de rochas com baixas concentrações de Fe, em climas mais frios e úmidos, posições no relevo que ajudam no acúmulo de água e temperaturas baixas, tem a prevalência de goethita (KÄMPF e CURI, 2012).

3.2.2 Hematita

A hematita é muito comum em solos e rochas sedimentares, metamórficas e magmáticas, assim sendo o segundo óxido de Fe mais encontrado no meio ambiente. Ela possui uma variação de cor de acordo com o tamanho da sua partícula, passando por vermelho vivo, violeta e cinza. Aparece em abundância na

região tropical e intertropical quente e úmida e presente em locais mais estáveis, derivados de diferentes materiais de origem (COSTA et al., 2009).

3.2.3 Magnetita

A magnetita é um mineral oriundo de rochas magmáticas e metamórficas, geralmente presente na fração areia como mineral primário. Na sua constituição química já existe Fe^{2+} e Fe^{3+} , o que a torna diferente dos outros óxidos de Fe. Devido sua forte atração magnética, se torna um mineral de fácil localização no campo (COSTA et al., 2009).

3.2.4 Maghemita

A maghemita tem uma estrutura semelhante a magnetita, porém ela é derivada da hematita. Comumente encontrada em solos bem desenvolvidos de rochas basálticas, e igual a magnetita tem fácil identificação, por seu magnetismo (COSTA, 2009). A oxidação do Fe^{2+} da magnetita por meio de intemperismo é a principal via de formação da maghemita (SCHWERTMANN e TAYLOR, 1989).

3.3 SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

Dos 9 elementos mais abundantes da crosta terrestre o único que apresenta momento magnético é o Fe. Esse momento se dá pela adição do impulso angular de elétrons não pareados e o impulso angular orbital (COSTA et al., 2009).

Segundo Thompson e Oldfield (1986), os diversos minerais podem ser classificados como: 1) minerais diamagnéticos: que não possuem atração magnética, são repelidos quando se tem um campo magnético forte; 2) minerais paramagnéticos: apresentam baixa magnetividade, devido a energia envolvida ser pequena; 3) minerais ferrimagnéticos: que podem apresentar alta magnetização, quando estão acima da temperatura crítica específica (Curie), ou como paramagnéticos quando está a baixo da temperatura Curie; 4) minerais antiferromagnéticos: minerais que apresentam momento magnético zero ou nulo, cujo o material tem a magnetização de forma espontânea, porém de volume zero.

A relação dos compostos de materiais com o grau de magnetização do

mesmo é chamada de suscetibilidade magnética (DEARING, 1999). A suscetibilidade magnética apresenta vantagens na determinação qualitativa e quantitativa da presença dos óxidos de Fe, tanto em solo quanto em sedimentos por ser uma medida não destrutiva e de fácil obtenção (COSTA et al., 1999; POGGERE et al., 2018).



Figura 2 -

Representação de suscetibilidade magnética no solo.

Foto: Elidiane Silva

A Tabela 3 apresenta a suscetibilidade magnética (χ) de cada mineral. Nota-se que entre os óxidos de maior ocorrência na fração argila dos solos, a maghemita é o único que apresenta alta suscetibilidade magnética.

Tabela 3: Classificação dos minerais segundo seu caráter magnético, fórmula química, teor de Fe e suscetibilidade magnética (χ).

Mineral	Fórmula Química	Fe (gkg ⁻¹)	χ (10 ⁻⁶ m ³ kg ⁻¹)
Ferrimagnético			
Magnetita	Fe ₃ O ₄	720	390 – 1.116
Maghemita	γ -Fe ₂ O ₃	700	286 – 500
Antiferromagnético			
Hematita	α -Fe ₂ O ₃	700	0,27 – 1,69
Goethita	α -FeOOH	630	0,35 – 1,25

Fonte: Costa et al. (2009).

3.4 USO DE METANÁLISES EM ESTUDOS AMBIENTAIS

A metanálise é uma forma de agregar resultados provenientes de diferentes estudos de um modo estatístico (HTANALYZE, 2019). Ela vem sendo muito utilizada como forma de aproveitamento da grande quantidade de dados já publicados. Sendo assim um procedimento metodológico que consiste em colocar diferentes estudos e conclusões em um mesmo banco de dados, com fins de uma única pesquisa específica, aumentando a quantidade de estudos analisados e minimizar possíveis tendências (FIGUEIREDO FILHO et al., 2014).

Segundo Meena et al. (2011), em uma pesquisa feita em Nova Delhi as áreas industriais e de tráfego pesado apresentam altas concentrações de minerais magnéticos, quando são comparadas com as áreas residenciais e verdes. Enquanto Guzmán et al. (2013), descobriu que para estudos de erosão até média escala os elementos raros presentes na terra apresentam uso significativo, fornecendo informações espaciais e temporais sobre erosão do solo e redistribuição de sedimentos.

Gomes et al. (2019) utilizaram um conjunto de dados de literatura (levantamentos de solos da Embrapa solos) de 8.227 perfis de solo, que consistiu em 37.693 amostras. A partir desses dados, foram gerados mapas da distribuição de carbono (C) no Brasil de acordo com os biomas, bem como o estoque de C. Rabel et al. (2018) analisaram 38 solos ácidos selecionados dos levantamentos de solos da região Sul do Brasil, com o objetivo de identificar e isolar o efeito dos componentes orgânicos e minerais na distribuição em profundidade do Al trocável. Mingoti et al. (2016) utilizaram bancos de dados de C, utilizaram-se os bancos de dados de informações de solos de Cooper et al. (2005) e de Oliveira et al. (2008) para apresentar um índice para caracterização da suscetibilidade dos solos à contaminação do lençol freático em solos do bioma Cerrado.

Desta forma, nota-se a grande utilidade das metanálises na geração de novas informações, sobretudo para extensas áreas, nas quais a obtenção de dados originais seria demorada e onerosa, sobretudo considerando o tamanho do Brasil.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 LEVANTAMENTO E ELABORAÇÃO DO BANCO DE DADOS

O levantamento de dados foi realizado a partir da revisão sistemática de dados de artigos científicos, teses e dissertações, obtidos a partir de pesquisa nas bases de dados Google Acadêmico, Portal da Capes, Web of Science, Scopus e Scielo. Na busca foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: suscetibilidade magnética, magnetismo, maghemita, solo. Foram selecionados somente trabalhos de solos brasileiros. De cada documento selecionado que apresentasse valores de suscetibilidade magnética, foram extraídas as seguintes informações: estado e coordenadas geográficas; Informações sobre o ambiente: precipitação média anual, temperatura média anual e material de origem; Atributos de solo: horizonte do solo (A ou B), profundidade da coleta, granulometria do solo, classificação do solo, teor de óxido de Fe, porcentagem dos óxidos de Fe_2O_3 , Al_2O_3 , SiO_2 e TiO_2 pelo ataque sulfúrico, Fe-DCB (extraído por ditionito-citrato-bicarbonato), Fe oxalato (extraído por oxalato de amônio), índices de intemperismo do solo (K_i e K_r), suscetibilidade magnética, carbono orgânico e matéria orgânica, fósforo extraído por Mehlich ou Resina, e fósforo remanescente; Condição do solo: Nativo ou Manejado.

Foram utilizados 19 trabalhos (CURI et, al., 1984; RESENDE et, al., 1986; RESENDE et, al., 1988; SIQUEIRA et, al., 2010; BARRIOS et, al., 2011; ALVARES, 2013; CAMELO, 2013; MATIAS et, al., 2013; SANTOS et, al., 2013; ARAUJO et, al., 2014; OLIVEIRA, 2015; CRUZ, 2016; SILVA, 2016; RAMOS et, al., 2017; TEIXEIRA et, al., 2017; CURI et, al., 2018; OLIVEIRA et, al., 2018; SANTOS, 2018; TEIXEIRA et, al., 2018; VILELA, 2019) para obtenção da base de dados. As informações foram digitadas e organizadas para o horizonte A e horizonte B em planilhas eletrônicas do Excel.

4.2 ANÁLISE DOS DADOS

As variáveis edafoclimáticas numéricas foram tabeladas e determinadas suas médias, maiores e menores valores, além do valor de suscetibilidade magnética. Adicionalmente, foram realizadas análises de regressão para avaliar o

impacto de covariáveis (variáveis edafoclimáticas) na suscetibilidade magnética. Assim, para cada conjunto de covariáveis obtidas pela revisão sistemática da literatura, foram obtidas regressões (linear, polinomial e exponencial) com os respectivos valores de suscetibilidade magnética. A definição das variáveis edafoclimáticas relacionadas à suscetibilidade magnética em solos brasileiros foi feita a partir das equações de regressão com valores de R^2 acima de 0,6 e significativas a 5% de probabilidade.

O estabelecimento de valores naturais de suscetibilidade magnética como parâmetro em estudos ambientais foi feito de acordo com os intervalos de suscetibilidade magnética observadas nas diferentes classes em solos e tipos de rochas (materiais de origem). Foi pré-determinado que para a variação da suscetibilidade magnética com relação ao tipo de solo e material de origem, deveria existir no mínimo 10 amostras com dados do mesmo tipo de solo ou material de origem. Os que não alcançaram 10 amostras não foram calculados os valores mínimos, médio e máximos de suscetibilidade magnética.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 VISÃO GERAL

A base de dados obtida apresenta 165 amostras de solos do horizonte A e 207 amostras do horizonte B, representados pelos estados destacados em verde na Figura 3. Os dados coletados, sobretudo do horizonte B, apresentam boa distribuição pelo Brasil, abrangendo a maioria dos estados e/ou regiões.

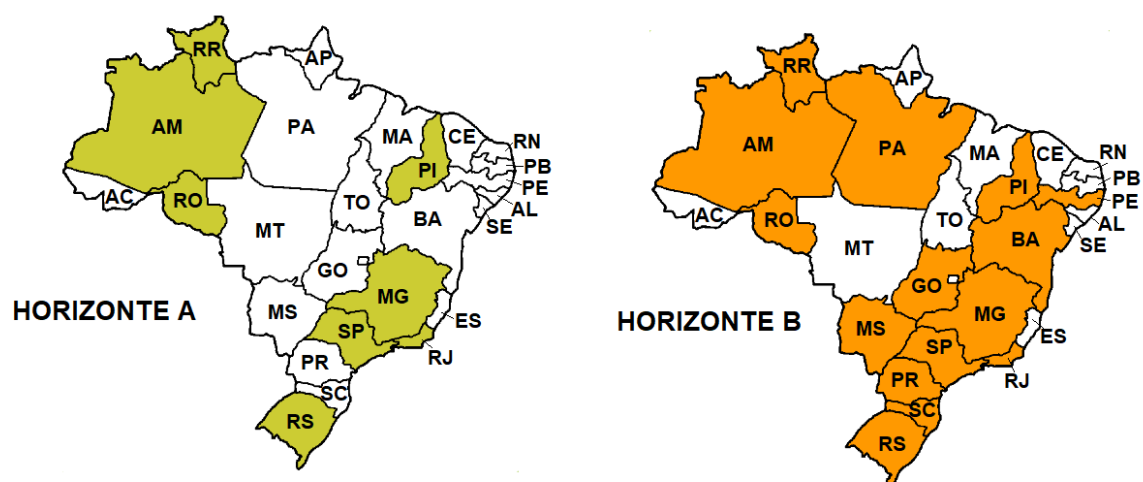


Figura 3 - Mapa esquemático do Brasil com destaque para os estados nos quais foram obtidos os dados edafoclimáticos, a partir dos dados da literatura.

Fonte: Autoria Própria.

O Quadro 1 apresenta os valores máximos, mínimos e a média das variáveis edafoclimáticas. O grande intervalo entre os valores mínimos e máximos na maioria das variáveis se deve a abrangência da amostragem e a própria diversidade de ambientes no Brasil. A suscetibilidade magnética apresentou valor médio no horizonte A e B de $17,3$ e $25,8 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, respectivamente. Os maiores valores de suscetibilidade no horizonte B se devem principalmente ao maior teor de material mineral observado nesse horizonte comparado ao horizonte A. Siqueira et al. (2016) observaram correlação moderada e negativa para os horizontes A e B ($-0,25^{**}$ e $-0,35^{**}$; $n = 893$; $**$ significativo a 1% de probabilidade), entre teor de matéria orgânica e suscetibilidade magnética em solos de São Paulo. O horizonte A também é um horizonte mineral, no entanto é caracterizado pelo acúmulo de matéria orgânica, e os menores valores de suscetibilidade neste horizonte podem ser devido ao efeito

de diluição (menor proporção de material mineral comparado ao horizonte B) e também pelo fato de que a matéria orgânica complexa Fe e favorece a formação de goethita em detrimento à hematita e maghemita (KÄMPF; CURI, 2012).

Horizontes Variáveis edafoclimáticas	A			B		
	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo
Suscetibilidade magnética ($\times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)	245,9	17,3	0,0*	615,0	25,8	0,0*
Precipitação média anual (mm)	2943	1889	1033	2943	1891	555
Temperatura média (°C)	26,7	20,3	14,4	26,7	22,2	15,3
Areia (g.kg^{-1})	958	426	20	974	332	17
Silte (g.kg^{-1})	687	239	11	526	183	6,00
Argila (g.kg^{-1})	841	335	20	921	503	20
Fe ₂ O ₃ Ataque sulfúrico (%)	59,8	11,1	0,10	65,5	16,2	0,10
Al ₂ O ₃ Ataque sulfúrico (%)	45	12,7	0,00	40,5	17,7	0,00
SiO ₂ Ataque sulfúrico (%)	29	10,7	0,70	35,7	15,3	0,90
TiO ₂ Ataque sulfúrico (%)	6,97	1,04	0,04	13,1	2,41	0,21
Ki	3,51	1,32	0,10	3,59	1,61	0,13
Kr	5,75	1,87	0,35	6,49	1,27	0,03
Fe-DCB (g kg^{-1})	328	57,9	1,20	377	92,0	6,25
Fe Oxalato (g kg^{-1})	9,90	2,78	0,20	35,4	5,39	0,26
Matéria orgânica (%)	8,57	3,09	0,34	2,94	0,94	0,03
P-Mehlich (mg dm^{-3})	12,7	2,37	0,28	76,4	4,35	0,00
P-Mehlich (mg kg^{-1})	22,0	2,26	0,50	17,5	3,26	0,40
P-resina (mg dm^{-3})	49,6	37,3	9,20	Nd	Nd	Nd
P-remanescente (mg L^{-1})	54,0	20,3	1,00	28,3	6,02	0,09

*Valores muito pequenos, aproximadamente zero.

Quadro 1 - Valores máximos médios e mínimos das variáveis edafoclimáticas, obtidos a partir dos dados da literatura. Horizonte A: n = 165; horizonte B: n = 207.

Fonte: Autoria Própria.

A média de temperatura e precipitação observada são características de ambientes tropicais, além disso, ambos os horizontes apresentaram teores médios de argila acima de 30%, caracterizando textura média ou mais argilosa. Isso demonstra que, no geral, os solos são bem intemperizados, e que podem apresentar teores significativos de caulinita e óxidos, minerais pedogenéticos (formados no solo) presentes na fração argila, produtos finais do intemperismo dos minerais primários (oriundos das rochas) (CURI; KÄMPF, 2012). Corroborando o índice Ki (relação SiO₂/Al₂O₃) abaixo de 2,0, que indica solos cauliníticos e é critério de classificação para horizonte Bw, horizonte diagnóstico da classe dos Latossolos

(EMBRAPA, 2018).

Os valores médios de Fe pelo ataque sulfúrico, entre 11 e 16% para os horizontes A e B, respectivamente, são característicos de solos mesoférricos (com médio teor de Fe) (EMBRAPA, 2018). Já os maiores valores de Fe-DCB em comparação ao Fe-oxalato indicam que os compostos de Fe na fração argila são predominantemente cristalinos, consequência de solos bastante intemperizados (POGGERE et al., 2017). Os teores de óxidos do ataque sulfúrico são relativos aos minerais secundários (argila), dissolvidos no processo de digestão da amostra do solo (areia+silte+argila) enquanto os teores de Fe extraídos na fração argila por ditionito-citrato-bicarbonato (Fe-DCB) são relativos ao Fe pedogenético cristalino (TEIXEIRA et al., 2017). Como a maghemita é o óxido de Fe pedogenético que confere ao solo características magnéticas, os teores de Fe pelo ataque sulfúrico e Fe-DCB são variáveis que mais se correlacionam com a suscetibilidade magnética no solo (COSTA et al., 1999; KÄMPF; CURI, 2012).

Não se observou relação entre suscetibilidade magnética e teores de P (Mehlich, resina e remanescente). Apesar de existir correlação entre essas variáveis (CAMARGO et al., 2016), solos desenvolvidos de rochas com menores teores de Fe e, portanto desfavoráveis à formação de maghemita podem apresentar elevada capacidade em reter P, sobretudo pela presença de goethita e/ou gibbsita (FONTES; WOOD, 2003; POZZA et al., 2009). Isso também ocorre pela pequena quantidade de amostras com valores de P mensurados.

5.2 REGRESSÕES SIGNIFICATIVAS

Entre os três modelos de regressão, os modelos linear e polinomial foram os que apresentaram coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,60 e dentre as variáveis edafoclimáticas, apenas Fe_2O_3 ataque sulfúrico e Fe-DCB apresentaram R^2 acima de 0,60 (Quadro 2). Essa relação se deve ao fato de que a maghemita, principal mineral pedogenético que apresenta magnetização, apresenta Fe em sua composição (COSTA et al., 1999).

Horizontes Variáveis edafoclimáticas	A			B		
	Linear	Polinomial	Exponencial	Linear	Polinomial	Exponencial
Precipitação média anual (mm)	0,0236	0,0265	0,0186	0,0376	0,0611	0,0269
Temperatura média (°C)	0,0341	0,0704	0,0301	0,2033	0,3516	0,2078
Areia (g kg ⁻¹)	0,0911	0,2189	0,0649	0,0270	0,0692	0,0152
Silte (g kg ⁻¹)	0,0138	0,0606	0,0249	0,0583	0,0846	0,0673
Argila (g kg ⁻¹)	0,1535	0,4415	0,1190	0,0178	0,0199	0,0141
Fe ₂ O ₃ Ataque sulfúrico (%)	0,7471*	0,7769*	0,3748	0,6246*	0,7179*	0,2793
Al ₂ O ₃ Ataque sulfúrico (%)	0,0423	0,0902	Nd	0,0015	0,0016	0,0006
SiO ₂ Ataque sulfúrico (%)	0,0006	0,0418	0,0043	0,1080	0,2153	0,1359
TiO ₂ Ataque sulfúrico (%)	0,0178	0,0317	0,0311	0,0282	0,0689	0,0233
Ki	0,3143	0,4884	0,4430	0,1784	0,349	0,2008
Kr	0,1222	0,1597	0,1450	0,2602	0,5396	0,3244
Fe-DCB (g kg ⁻¹)	0,6564*	0,6564*	0,2837	0,6182*	0,6375*	0,3514
Fe Oxalato (g kg ⁻¹)	0,1548	0,2115	0,1542	0,0903	0,2288	0,1222
Matéria orgânica (%)	0,0557	0,0977	0,0668	0,2236	0,2466	0,1809
P-Mehlich (mg dm ⁻³)	0,1731	0,1792	0,3346	0,0118	0,0320	Nd
P-Mehlich (mg kg ⁻¹)	0,0160	0,0169	0,0221	0,0119	0,0217	0,0046
P-resina (mg dm ⁻³)	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
P-remanescente (mg L ⁻¹)	0,0733	0,0984	0,0328	0,1039	0,1458	0,1242

Quadro 2 - Valores de R² para regressões entre suscetibilidade magnética do solo e variáveis edafoclimáticas obtidas a partir dos dados da literatura. * Significativo a 5% de probabilidade. Nd = não determinado.

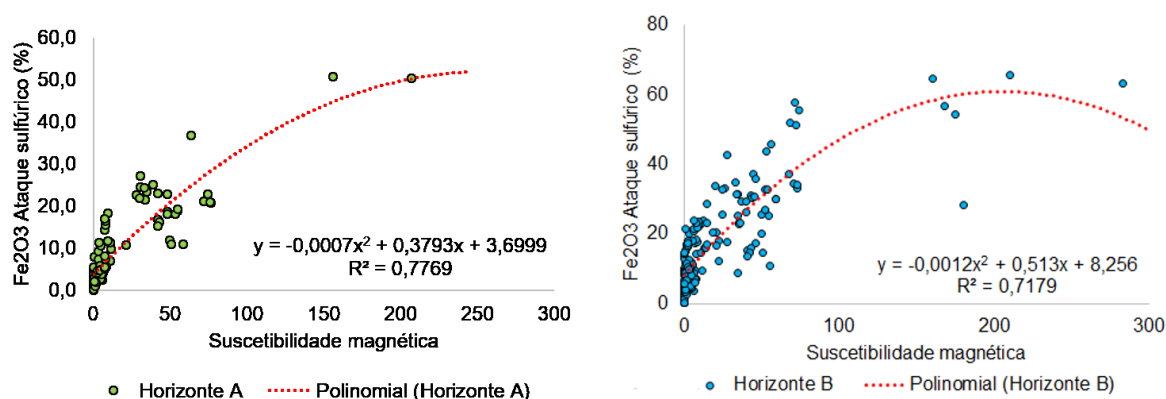
Fonte: Autoria Própria.

No entanto, apesar de a maghemita ocorrer na fração argila, a ausência de correlação entre argila e suscetibilidade magnética se explica pela variabilidade de solos e materiais de origem dos solos analisados. A formação de argila no solo, em maior ou menor grau, pode ocorrer a partir de qualquer material de origem, enquanto a formação de maghemita ocorre apenas em solos formados a partir de rochas com altos teores de Fe, como basalto e itabirito (CAMÊLO et al., 2018; POGGERE et al., 2018).

Tanto a análise de Fe por ataque sulfúrico quanto a análise de Fe-DCB são de grande utilidade em estudos envolvendo o solo. A primeira por determinar o seu grau de intemperismo e a segunda por quantificar os óxidos de Fe, juntamente com

os difratogramas de raios-X (COSTA et al., 1999; POGGERE et al., 2018; CAMÊLO et al., 2018). No entanto, ambas as análises são demoradas e dependem de vários processos e soluções, o que encarece e inviabiliza a realização de grande número de análises.

As Figuras 4 e 5 apresentam as regressões entre o teor de Fe e suscetibilidade magnética. Observa-se similaridade entre os modelos de regressão para ambas as formas de Fe no horizonte A e B. Isso demonstra a potencialidade da análise de suscetibilidade magnética dos solos para determinar o teor de Fe pelo ataque sulfúrico e Fe-DCB. A análise de suscetibilidade magnética é feita a partir de amostras não destrutivas, na qual a amostra é submetida a um campo magnético e a sua resposta em termos de magnetização é lida como suscetibilidade magnética (DEARING, 1999). Por se tratar de uma análise rápida, não destrutiva e relativamente simples, haveria possibilidade de se realizar determinações em grandes quantidades de amostras, o que melhoraria muito as informações,



sobretudo em estudos de monitoramento ambiental.

Figura 4 - Regressão entre suscetibilidade magnética e teor de Fe_2O_3 ataque sulfúrico do horizonte A e horizonte B, obtidos a partir de dados da literatura.

Fonte: Autoria própria.

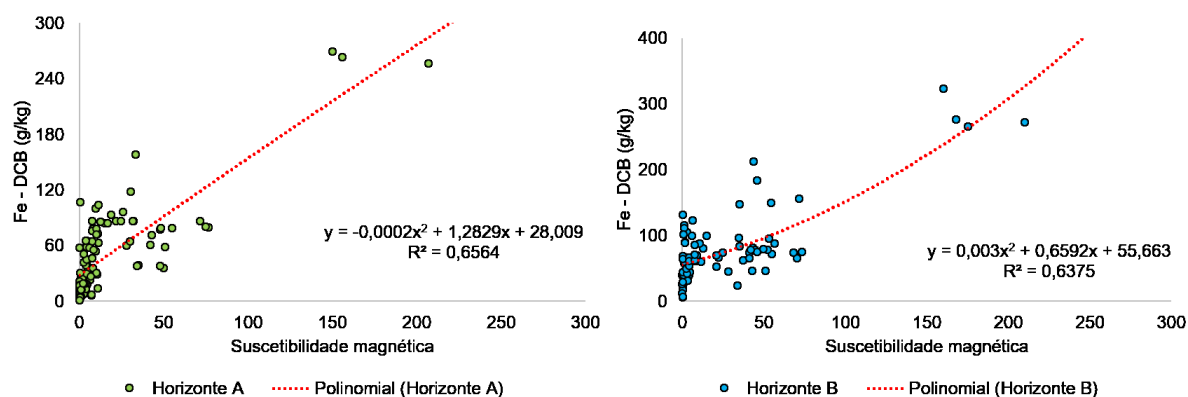


Figura 5 - Regressão entre suscetibilidade magnética e teor de Fe-DCB do horizonte A e horizonte B, obtidos a partir de dados da literatura.

Fonte: Autoria própria.

Os óxidos de Fe são importantes indicadores ambientais pois estão relacionados ao regime de drenagem do solo, ao tipo de material de origem, indicam ambientes com maior propensão de retenção de poluentes catiônicos (CERVI et al., 2014; TUUTIJÄRVI et al., 2009; VODYANITSKII et al., 2009), entre outras aplicações ambientais. Desta forma, indiretamente a suscetibilidade poderia ser utilizada como ferramenta em diversos aspectos de separação de ambientes.

5.3 RELAÇÕES ENTRE SOLO E MATERIAL DE ORIGEM COM A SUSCETIBILIDADE MAGNÉTICA

Para os dados do horizonte A, foi possível o agrupamento em 5 tipos de material de origem (Arenito, Basalto, Sedimentos Arenosos, Sedimentos Argilosos, Serpentinó/Esteatito) e 4 tipos de solo (Argissolo Vermelho, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho, Neossolo) e apresentados nos Quadros 3 e 4, respectivamente.

Horizonte A				
Material de origem	Número de amostras	Suscetibilidade Magnética ($\times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)		
		Mínimo	Média	Máximo
Arenito	22	0,11	2,3	11,1
Basalto	39	0,56	23,9	76,6
Sedimentos Arenosos	10	0,01	4,2	42,1
Sedimentos Argilosos	12	0,00	1,2	5,1
Serpentinó/Esteatito	12	9,70	67,6	207,0

Quadro 3 - Valores máximos médios e mínimos de suscetibilidade magnética para materiais de origem do horizonte A de solos, obtidos a partir dos dados da literatura.

Fonte: Autoria Própria.

Horizonte A				
Tipos de Solos	Número de amostras	Susceptibilidade Magnética ($\times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)		
		Mínimo	Média	Máximo
Argissolo Vermelho	21	0,11	1,5	3,8
Latossolo Amarelo	12	0,05	1,6	6,0
Latossolo Vermelho	56	0,22	27,5	156,0
Neossolo	10	0,68	19,5	63,7

Quadro 4 - Valores máximos médios e mínimos de susceptibilidade magnética para o horizonte A de solos, obtidos a partir dos dados da literatura.

Fonte: Autoria Própria.

Para os dados do horizonte B, foi possível o agrupamento em 4 tipos de matérias de origem (Basalto, Sedimentar, Sedimentos Argilosos, Tufito) e 5 tipos de solo (Cambissolo Háplico, Latossolo, Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho, Nitossolo Vermelho) apresentados nos Quadros 5 e 6, respectivamente.

Horizonte B				
Material de origem	Número de amostras	Susceptibilidade Magnética ($\times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)		
		Mínimo	Média	Máximo
Basalto	30	2,1	61,1	615,0
Sedimentar	10	0,09	0,68	4,2
Sedimentos Argilosos	36	0,00	1,0	5,9
Tufito	20	2,8	28,1	56,5

Quadro 5 - Valores máximos médios e mínimos de susceptibilidade magnética para materiais de origem do horizonte B de solos, obtidos a partir dos dados da literatura.

Fonte: Autoria Própria.

Horizonte B				
Tipos de Solos	Número de amostras	Susceptibilidade Magnética ($\times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$)		
		Mínimo	Média	Máximo
Cambissolo Háplico	10	0,08	16,1	43,7
Latossolo	54	0,10	41,0	615,0
Latossolo Amarelo	25	0,07	1,0	4,4
Latossolo Vermelho	53	0,00	31,4	160,1
Nitossolo Vermelho	10	0,59	28,0	49,7

Quadro 6 - Valores máximos médios e mínimos de susceptibilidade magnética para o horizonte A de solos, obtidos a partir dos dados da literatura.

Fonte: Autoria Própria.

Os materiais de origem que conferem aos solos maiores teores de suscetibilidade magnética foram os Serpentinito/Esteatito, seguidos do Basalto e Tufito (Quadros 3 e 5). As amostras de Serpentinito e Esteatito são de solos localizados em Bom Sucesso, MG. Essas rochas são classificadas como ultrabásicas metamorizadas e apresentam consideráveis teores de serpentina, talco e magnetita (Vilela, 2019), este último o mineral primário presente na fração areia dos solos, precursor da maghemita e que também confere ao solo altos valores de suscetibilidade magnética. Basalto e tufito são também rochas máficas e, sobretudo o basalto também confere ao solo maiores teores de maghemita (COSTA et al., 1999; CAMÊLO et al., 2018; POGGERE et al., 2018).

Tanto para o horizonte A quanto para o horizonte B, os maiores valores médios de suscetibilidade magnética foram observados para os Latossolos Vermelho, ou no caso do horizonte B também para o grupo de 54 Latossolos que não foi possível a distinção da classe no segundo nível categórico do sistema de classificação (Quadros 4 e 6). Os grupos dos Latossolos indiscriminados se tratam, provavelmente de Latossolos Vermelhos, uma vez que os valores médios e máximos foram superiores aos valores observados nos demais Latossolos Vermelhos.

Em termos de intemperismo, os Latossolos são os solos mais velhos e, portanto, mais intemperizados. Isso contribui para a formação de significativos teores de argila e também de óxidos de Fe, sobretudo nos Latossolos Vermelhos. Os Latossolos Amarelos, também são bastante intemperizados e podem apresentar altos teores de argila, no entanto são desenvolvidos a partir de rochas com menores teores de Fe e/ou em ambientes com maior teor de matéria orgânica, que complexa parte do Fe. Ambos fatores favorecem a formação de goethita, óxido de Fe que não apresenta suscetibilidade magnética.

Poggere et al. (2018) caracterizaram solos de diferentes materiais de origem quanto às propriedades magnéticas e observaram que quanto mais intemperizado o solo originado de rochas ricas em Fe, maior os teores de maghemita. A maghemita é um mineral de menor estabilidade quando comparado à hematita ou a goethita, por isso de menor ocorrência em termos quantitativos. No entanto, pequenas quantidades já podem ser detectadas a partir das medidas magnéticas (POGGERE et al., 2018).

Considerando uma toposequência típica de ambientes tropicais, os

Latossolos ocorrem em posições mais planas da paisagem, enquanto Argissolos, Cambissolos e Nitossolo ocorrem nas meias encostas um pouco mais íngremes (KÄMPF; CURI, 2012). Desta forma, a partir da determinação dos valores de referência para suscetibilidade magnética é possível verificar e monitorar a origem de sedimentos vindos por erosão, caso esta ocorra na referida topossequência. Além disso, os Latossolos são solos profundos o que é uma vantagem em termos de retenção de poluentes. Assim, a suscetibilidade magnética também poderia indicar áreas mais propícias a construções de aterros sanitários, de lagoas de tratamento de efluentes (industriais e oriundos de atividades agropecuárias) e sistemas de fossas sépticas em áreas rurais.

5 CONCLUSÃO

A partir da base de dados analisada neste estudo, conclui-se:

- i) As variáveis edafoclimáticas que apresentam relação com suscetibilidade magnética são os teores de Fe por ataque sulfúrico e Fe-DCB.
- ii) Para horizonte A, os valores de referência para suscetibilidade magnética ($\times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) são: Argissolos Vermelhos e Latossolos Amarelos: 1,6; Neossolos: 19,5; Latossolos Vermelhos: 27,5.
- iii) Para horizonte B, os valores de referência para suscetibilidade magnética ($\times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$) são: Latossolos Amarelos: 1,0; Cambissolos Háplicos: 16,1; Nitossolos Vermelhos: 28,0; Latossolos Vermelhos: 35,0.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2017. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/download-panorama-2017/>>. Acesso em: 16 de abr. de 2019.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES, G., LEONARDO, J., SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, 22(6), 711-728, 2013.
- ARAUJO, M.A., PEDROSO, A.V., AMARAL, D.C, ZINN, Y.L. **Paragênese mineral de solos desenvolvidos de diferentes litologias na região sul de Minas Gerais**. Lavras - MG: Universidade Federal de Lavras – UFLA, 2014.
- BARRIOS, M.R., JUNIOR, J.M., PANOSSO, A.R., SIQUEIRA, D.S., JUNIOR, N.L.S. **Magnetic susceptibility to identify landscape segments on a detailed scale in the region of Jaboticabal, São Paulo, Brazil**. 2011.
- CAMARGO, L.A., MARQUES JR., J., PEREIRA, G.T., ALLEONI, L.R.F., BAHIA. A.S.R.S., TEIXEIRA, D.B. **Pedotransfer functions to assess adsorbed phosphate using iron oxide content and magnetic susceptibility in an Oxisol**. Soil use and management, 32, 172-182, (2016).
- CAMÊLO, D.L., KER, J.C., FONTES, M.P.F., COSTA, A.C.S., CORRÊA, M.M., LEOPOLD, M. **Mineralogy, magnetic susceptibility and geochemistry of Fe-rich Oxisols developed from several parent materials**. Scientia agricola, 75, 410-419, 2018.
- CAMÊLO, D.L. **Mineralogia, suscetibilidade magnética e teores de fósforo e de elementos traço em latossolos férricos e perférricos de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, MG, 2013.
- CAMARGO, L.A., MARQUES JR, J., PEREIRA, G.T., ALLEONI, L.R.F., BAHIA. A.S.R.S., TEIXEIRA, D.B. **Pedotransfer functions to assess adsorbed phosphate using iron oxide content and magnetic susceptibility in an Oxisol**. Soil Use and Management, 32, 172–182, 2016.
- CERVI, E.S.; COSTA, A.C.S.; SOUZA JUNIOR, I.G. **Magnetic susceptibility and the spatial variability of heavy metals in soils developed on basalt**. Journal of Applied Geophysics, 111, 377-383, 2014.
- COEY, J.M.D. **Magnetic properties of iron in soil oxides and clay minerals**. In: STUCKI, J.W.; GOODMAN, B.A. & SCHWERTMANN, U., eds. Iron in soils and clay minerals. Dordrecht, D. Reidel Publ., 1988. .65-84. (NATO ASI Series, 217).
- COOPER, M.; MENDES, L.M.S.; SILVA, W.L.C.; SPAROVEK, G. **A national soil profile database for Brazil available to international scientists**. Soil Science Society of America Journal, 69, 649-652. DOI: 10.2136/sssaj2004.0140.

COSTA, A.C.S.; BIGHAM, J.M.; RHOTON, F.E. & TRAINA, S.J. **Quantification and characterization of maghemite in soils derived from volcanic rocks in southern Brazil.** *Clays Clays Miner.*, 47:466-473, 1999.

CRUZ, N.N.L. **Dependência especial de atributos químicos, físicos e suscetibilidade magnética na região piauiense do matopiba.** Bom Jesus - PI: Universidade Federal do Piauí – UFP, 2016.

CURI, N., FRANZMEIER, D.F. **Toposequence of Oxisols from the central plateau of Brazil.** *Soil Science Society of America Journal*, 48:341-346, 1984.

CURI, NILTON; SILVA, S. H. G; POGGERE, GIOVANA C.; MENEZES, M. D. **MAPEAMENTO de Solos e Magnetismo no Campus da UFLA como Traçadores Ambientais.** Lavras-MG: Editora UFLA, 147, 2018.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 5a ed. Brasília: Embrapa, 590, 2018.

KÄMPF, N.; CURI, N. **Formação e evolução do solo (Pedogênese).** In: KER, J.C. et al. (eds). *Pedologia - Fundamentos*, Viçosa: SBCS, 207-302, 2012.

DEARING JA. **Environmental magnetic susceptibility: using the Bartington MS2 system.** 2nd ed. Kenilworth: Chi Publishing; 1999.

FONTES, M.P.F., WEED, S.B. **Phosphate adsorption by clays from Brazilian Oxisols: relationships with specific surface area and mineralogy.** *Geoderma*, 72, 37-51, 1996.

FILHO, D.B.F., ROCHA, E. C., PARANHOS, R., JUNIOR, J. A.S. **O que é, para que serve e como se faz uma meta-análise?** - Brasília, DF, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-69712019000500301&script=sci_arttext&tling=pt>. Acesso em: 19 de nov. de 2019.

GOMES, L. C., FARIA, R. M., SOUZA, E., VELOSO, G. V., SCHAEFER, C. E. G., FILHO, E.I.F. **Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil.** *Geoderma*, 340, 337-350, 2019.

GUZMÁN, G., QUINTON J.N., NEARING, M.A., MABIT, L., GÓMEZ, J.A. **Sediment tracers in water erosion studies: current approaches and challenges.** Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.

HTANALYZE – **Economia e Gestão em Saúde. Revisão Sistemática e Metanálise.** Disponível em: <<https://www.htanalyze.com/metanalise/>>. Acesso em: 19 de nov. de 2019.

MATIAS, S.S.R., JUNIOR, J.M., SIQUEIRA, D.S., PEREIRA, G.T. **Modelos de paisagem e suscetibilidade magnética na identificação e caracterização do solo.** 2013.

MEENA, N.K., MAITI S., SHIRAVASTAVA, A. **Discrimination between anthropogenic (pollution) and lithogenic magnetic fraction in urban soils (Dehli, India) using environmental magnetism.** Journal of Applied Geophysics Berlin Heidelberg 2011.

MINGOTI, R., SPADOTTO, C. A., MORAES, D. D. C. **Suscetibilidade à contaminação da água subterrânea em função de propriedades dos solos no Cerrado brasileiro.** Embrapa Gestão Territorial-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2016.

OLIVEIRA, J.S. **Mineralogia e adsorção de fósforo em solos do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre - RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2015.

OLIVEIRA, S.R. de M.; ZURMELY, H.R.; LIMA JÚNIOR, F.A. de; SANTOS, H.G. dos; MEIRELLES, M.P.S. **Sistema de informação de solos brasileiros. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária.** Embrapa Informática Agropecuária. Comunicado técnico, 8, 93, 2008.

OLIVEIRA, V.A., VALE JÚNIOR, J.F., SCHAEFER, C.E.G.R., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., MELO, V.F., CAMPOS, M.C., CORRÊA, G.R., CALDERANO, S.B., KER, J.C. **Solos da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos (RCC de Roraima).** IN: BATISTA, K.D., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., OLIVEIRA, V.A., VALE JÚNIOR, J.F. Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Roraima. Embrapa, Brasília 2018.

POGGERE, G.C. **Quantification and characterization of pedogenetic maghemite and digital soil mapping using magnetic measurements.** 114. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2018.

POGGERE, G. C., INDA, A.V.I., BARRÓN, V., KÄMPF, N., BRITO, A.D.B., BARBOSA, J.Z., CURTI, N., 2018. **Maghemite quantification and magnetic signature of Brazilian soils with contrasting parent materials.** Appl. Clay Sci. 161, 385–394, 2018.

POZZA, A.A.A., CURTI, N., GUILHERME, L.R.G., MARQUES, J.J.G.S., COSTA, E.T.S., ZULIANI, D.Q. **Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética.** Quim. Nova, 32, 99-105, 2009.

RABEL, D. O., MOTTA, A. C. V., BARBOSA, J. Z., PRIOR, S. A. **Distribuição de alumínio trocável em profundidade nos solos ácidos: um estudo em áreas subtropicais do Brasil.** Acta Scientiarum. Agronomy, 40, 2018.

RAMOS, P. V., DALMOLIN, R. S. D., MARQUES JÚNIOR, J., SIQUEIRA, D. S., ALMEIDA, J. A. D., MOURA-BUENO, J. M. **MAGNETIC susceptibility of soil to differentiate soil environments in southern Brazil.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 41, 2017.

RESENDE, M.; SANTANA, D.P. REZENDE, S.B. **Suscetibilidade magnética em Latossolos do Sudeste e do Sul do Brasil.** In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DE APTIDÃO AGRÍCOLA, 3., Rio

de Janeiro, Anais. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-SNLCS/SBCS, 233-258 1988.

RESENDE, M., SANTANA, D. P., FRANZMEIER, D. P., & COEY, J. M. D. **Magnetic properties of brazilian oxisols**. In 8 INTERNATIONAL SOIL CLASSIFICATION WORKSHOP. Brasília: Embrapa-SNLCS/USDA-SCS/SMSS, 1986.

SANTOS, L.A.C. **Mineralogia e matéria orgânica de terra preta arqueológica e solos adjacentes não antrópicos na região de Apuí Amazonas**. Santa Maria - RS: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2018.

SANTOS, H.L., JUNIOR, J.M., MATIAS, S.S.R., SIQUEIRA, D.S., FILHO, M.V.M. **Erosion factors and magnetic susceptibility in different compartments of a slope in Gilbués – PI, Brazil**. 2013.

SILVA, L.S. **Mineralogia da fração argila dos solos do planalto ocidental Paulista**. Jaboticabal – SP: Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus: Jaboticabal, 2016.

SIQUEIRA, D. S., MARQUES JR, J., MATIAS, S. S. R., BARRÓN, V., TORRENT, J., BAFFA, O., OLIVEIRA, L. D. **Correlation of properties of Brazilian Haplustalfs with magnetic susceptibility measurements**. Soil Use and Management, 26(4), 425-431 2010.

SCHWERTMANN, U., TAYLOR, R.M. **Iron oxides**. In: **DIXON, J.B. & WEED, S.B., eds. Minerals in soil environments**. 2.ed. Madison, Soil Science Society of America, 379-438, 1989.

TEIXEIRA, P.C., CAMPOS, D.V.B, FONTANA, A. **Ataque sulfúrico.Pp 255–258 in: Manual de métodos de análise de solos**. 3rd ed P.C. Teixeira, G.K. Donagemma, A. Fontana, W.G. Teixeira, editors. Embrapa Solos, Rio de Janeiro.

TEIXEIRA, W.G., SHINZATO, E., LUMBRERAS, J. F., MOGUEIRA, J.N.P. **A suscetibilidade magnética e a condutividade elétrica aparente de amostras dos solos da XII Reunião de Classificação e Correlação de Solos de Rondônia**. IN: LUMBRERAS, J.F., ANJOS, L. H. C., COELHO, M.R., OLIVEIRA, V.A. Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos. 201-214. Embrapa, Brasília 2017.

TEIXEIRA, W.G., SHINZATO, E., LUMBRERAS, J. F., MOGUEIRA, J.N.P. **A suscetibilidade magnética e a condutividade elétrica aparente de amostras dos solos da XI Reunião de Classificação e Correlação de Solos (RCC de Roraima)**. IN: BATISTA, K.D., LUMBRERAS, J.F., COELHO, M.R., OLIVEIRA, V.A., VALE JÚNIOR, J.F. Guia de campo da XI Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Roraima. 365-380. Embrapa, Brasília 2018.

THOMPSON, R., OLDFIELD, F. **Environmental magnetism**. Allen and Unwin, London, Allen & Unwin. 237, 1986.

TUUTIJÄRVI, T.; LUB, J.; SILLANPÄÄ, M. & CHEN, G. **As(V) adsorption on maghemite nanoparticles.** *Journal of Hazardous Materials*. v.166, p.1415–1420, 2009.

VILELA, E.F. **Soil genesis, mineralogy and chemical composition in a steatite-serpentinite outcrop under tropical humid climate in Bom Sucesso, Brazil.** Lavras - MG: Universidade Federal de Lavras – UFLA, 2019.

VODYANITSKII, Y.N.; MORGUN, E.G.; OBYDENOVA, L.A.; RUMYANTSEVA, K.A.; CHAPYGINA, N.V. **Geochemistry of Magnetite and Maghemite in Soils in European Russia.** *Geokhimiya*, 3, 314–327, 2009.