

**ATRIBUTOS DO SOLO EM ILHAS DE VEGETAÇÃO SOBRE
AFLORAMENTOS GRANÍTICOS NO MORRO DO ITAOCA, CAMPOS
DOS GOYTACAZES (RJ)**

ANA CAROLINA DO ROSÁRIO GOMES

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY
RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO - 2023**

**ATRIBUTOS DO SOLO EM ILHAS DE VEGETAÇÃO SOBRE
AFLORAMENTOS GRANÍTICOS NO MORRO DO ITAOCA, CAMPOS
DOS GOYTACAZES (RJ)**

ANA CAROLINA DO ROSÁRIO GOMES

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Marciano
Coorientador: Prof. Dr. Gabriel Ramatis Pugliese Andrade

CAMPOS DOS GOYTACAZES - RJ
AGOSTO – 2023

FICHA CATALOGRÁFICA
UENF - Bibliotecas
Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

G633 Gomes, Ana Carolina do Rosário.

ATRIBUTOS DO SOLO EM ILHAS DE VEGETAÇÃO SOBRE AFLORAMENTOS GRANÍTICOS NO MORRO DO ITAOCA, CAMPOS DOS GOYTACAZES (RJ) / Ana Carolina do Rosário Gomes. - Campos dos Goytacazes, RJ, 2023.

123 f.

Bibliografia: 84 - 110.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2023.

Orientador: Claudio Roberto Marciano.

Coorientador: Gabriel Ramatis Pugliese Andrade.

1. Inselberg. 2. Atributos físicos. 3. Atributos químicos . 4. Atributos da matéria orgânica . 5. Hidrofobicidade. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD - 630

ATRIBUTOS DO SOLO EM ILHAS DE VEGETAÇÃO SOBRE
AFLORAMENTOS GRANÍTICOS NO MORRO DO ITAOCA, CAMPOS
DOS GOYTACAZES (RJ)

ANA CAROLINA DO ROSÁRIO GOMES

Dissertação apresentada ao Centro de
Ciências e Tecnologias Agropecuárias da
Universidade Estadual do Norte Fluminense
Darcy Ribeiro, como parte das exigências
para obtenção do título de Mestre em
Produção Vegetal

Aprovada em 21 de agosto de 2023.

Comissão Examinadora:

Prof^a. Dora Maria Villela José (D.Sc., Ecologia) – UENF

Prof. Dayvid Rodrigues Couto (D.Sc., Botânica) – INMA

Prof. Gabriel Ramatis Pugliese Andrade (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) -
UENF (Coorientador)

Prof. Cláudio Roberto Marciano (D.Sc., Solos e Nutrição de Plantas) - UENF
(Orientador)

DEDICO

À minha mãe Sirlene, exemplo de amor e dedicação.
Ao meu pai Manoel, exemplo de caráter.
À minha tia Cristina, pelo incentivo.
Aos amigos, pelo encorajamento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, por ter me concedido a graça da realização desse sonho, e por tudo que tem feito em minha vida, pela oportunidade e pela força durante esta caminhada;

À minha mãe Sirlene e ao meu pai Manoel, pelo amor e carinho, e por estarem sempre presentes na minha vida em todos os momentos. Obrigada pelos ensinamentos e por sempre me apoiarem e incentivarem;

À minha tia Cristina, por sempre torcer e acreditar na minha capacidade e me ajudar todas as vezes que precisei.

À minha avó Cirene (in memoriam), por todo carinho, apoio, paciência e ensinamentos;

Ao meu orientador, professor Cláudio Roberto Marciano, pelos ensinamentos, conselhos, orientação e incentivo;

Ao professor Coorientador, Gabriel Ramatis Pugliese Andrade, por ser sempre solícito em ajudar e orientar;

Aos colegas de laboratório Rosely, Stênio e Lailson, por toda ajuda durante essa caminhada, pelas conversas e risadas e pelos cafezinhos;

Ao técnico Ederaldo, pelas coletas das amostras, por toda ajuda durante a execução dos experimentos, pelos cafezinhos e conversas e risadas;

À professora Emanuela Forestieri da Gama-Rodrigues, pela permissão para realização das análises no laboratório;

Às técnicas Katia e Vanilda, pela ajuda e por estarem à disposição;

À minha amiga Maria Clara, pelo incentivo e apoio durante toda essa jornada.

À Brenda e à Josiane, pelas coletas das amostras;

À Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, pela oportunidade e pela concessão da bolsa;

Aos professores da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, por todos os ensinamentos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal e ao Laboratório de Solos, pela oportunidade de realização do mestrado;

E a todos aqui não citados, mas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Solos	4
2.1.1 Solos de afloramentos rochosos	7
2.2 <i>Inselbergs</i> (afloramentos rochosos)	8
2.3 Atributos físicos e químicos do solo	10
2.4 Atributos físicos-hídricos do solo e hidrofobicidade.....	13
2.5 Origem, relação com outros atributos e medição da hidrofobicidade.....	15
2.6 Atributos da matéria orgânica do solo	20
2.7 Espectroscopia de infravermelho	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1 Área de estudo.....	26
3.2 Caracterização da vegetação e amostragem dos solos.....	28
3.3 Caracterização física e química das amostras de solo	29
3.3.1 Composição granulométrica.....	29
3.3.2 Densidade de partículas (D_p)	30

3.3.3 pH.....	31
3.3.4 Cálcio, magnésio,potássio e sódio trocáveis.....	31
3.3.5 Acidez trocável (Al)	31
3.3.6 Acidez potencial (H + Al).....	32
3.3.7 Capacidade de troca catiônica efetiva (CTC _{efet}) e potencial (CTC _{pot})	32
3.3.8 Carbono e nitrogênio orgânico (C e N).....	32
3.4 Caracterização da afinidade água-solo e do grau de hidrofobicidade.....	32
3.4.1 Tempo de penetração da gota de água (TPGA)	33
3.4.2 Método da molaridade da gota de etanol (MGE).....	33
3.4.3 Sortividade intrínseca na infiltração inicial.....	35
3.5 Caracterização do grau de decomposição do material orgânico do solo ...	38
3.5.1 Escala de Von Post.....	39
3.5.2 Índice do pirofosfato (IP)	40
3.5.3 Determinação de fibras	41
3.6 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (DRIFT) ..	43
3.7 Análise estatística	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	46
4.1 Atributos físicos do solo e grau de decomposição do material orgânico	46
4.2 Atributos químicos do solo	51
4.3 Indicadores da afinidade solo-água e composição da matéria orgânica do solo.....	60
4.4 Correlações entre atributos dos diferentes grupos de variáveis.....	72
4.5 Análise de componentes principais e distinção dos solos das ilhas de vegetação estudadas	77
5 CONCLUSÃO.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

RESUMO

Gomes, Ana Carolina do Rosário. M.Sc.; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Agosto de 2023. Atributos do solo em ilhas de vegetação sobre afloramentos graníticos no Morro do Itaoca, Campos dos Goytacazes (RJ). Orientador: Prof. Dr. Cláudio Roberto Marciano. Coorientador: Prof. Dr. Gabriel Ramatis Pugliese Andrade.

Os *inselbergs* são afloramentos rochosos ocorrem em maciços rochosos, com formação geológica e geomorfológica antiga, constituídos principalmente por rochas gnáissicas e/ou graníticas. Esses maciços rochosos podem tanto compor a paisagem de áreas montanhosas quanto despontar abruptamente acima de paisagens mais planas que os cercam. Os *inselbergs* apresentam ilhas de solo, coincidentes com ilhas de vegetação, que são circundadas por rocha exposta. Essas ilhas de vegetação rupícola abrigam espécies altamente adaptativas e resistentes às condições ecológicas particulares desses ambientes, que incluem ventos constantes, elevadas variações de temperatura e solos pouco espessos, ácidos, com baixa disponibilidade de água e nutrientes e super aquecidos. Como ocorreu em Campos dos Goytacazes (RJ), a partir da Lei Municipal 8424 de 2013, que criou a “Área de Proteção Ambiental do Morro do Itaoca”, muitos desses maciços, dadas as suas fragilidades ecológicas, são delimitados como unidades de conservação e, ao mesmo tempo, sofrem impactos do aumento do ecoturismo e de seu uso para a prática de esportes radicais. Diante desse cenário, e sendo o conhecimento sobre esses ecossistemas ainda escasso na literatura, estudos acerca dos solos desses ambientes tornam-se imprescindíveis. O presente estudo

visou caracterizar atributos físicos, químicos e da matéria orgânica de Neossolos Litólicos do Maciço do Itaoca, em Campos dos Goytacazes-RJ. Vinte e uma amostras de solo provenientes de seis ilhas de vegetação rupícola foram coletadas nos *inselbergs* de duas encostas do Itaoca, e os resultados foram interpretados com base na estatística descritiva, análise de correlação e análise de componentes principais. Durante o estudo foi observado que os solos das ilhas de vegetação são rasos, fortemente ácidos e com altos teores de carbono orgânico, aspectos decorrentes do acúmulo de materiais orgânicos provenientes da vegetação rupícola. Os solos, fisicamente, apresentaram textura francoarenosa e baixa densidade de partículas e, quimicamente, elevados valores de acidez trocável e potencial e de capacidade de troca de cátions efetiva e potencial. Destaca-se, em relação aos atributos do material orgânico do solo, que os teores de fibras totais e esfregadas refletem as condições ambientais do meio, restritivas ao avanço de sua decomposição. Quanto ao grau de decomposição do material, este foi melhor representado pelo índice de Von Post, enquanto que o índice do pirofosfato de sódio se relaciona melhor com a natureza da matéria orgânica. No que diz respeito à espectroscopia no infravermelho, dentre as bandas características de material orgânico foi dado destaque às que possivelmente conferiam ao solo os variados graus de hidrofobicidade percebidos nas análises para este fim, pelos métodos do tempo de penetração de gota de água, da molaridade da gota de etanol e da sortividade intrínseca na infiltração inicial. Por fim, na análise de componentes principais observou-se que os dois primeiros componentes (CP1 e CP2) representaram 60,6% da variação dos dados, sendo determinados principalmente por atributos físicos e químicos do solo, enquanto os demais componentes (CP3, CP4 e CP5) responderam pelos 39,4% dessa variação, sendo determinados por outros atributos tanto químicos quanto relacionados ao grau de decomposição da matéria orgânica. Apesar de apresentarem textura grossa e terem os demais atributos físicos e químicos afetados pela expressiva presença de matéria orgânica, pôde-se concluir que os solos das ilhas de vegetação rupícola apresentam grande variabilidade nos valores desses atributos e que, embora a maior parte de sua variabilidade seja determinada por fatores físicos e químicos rotineiramente determinados, a obtenção de atributos menos usuais contribui para uma melhor distinção entre as ilhas de vegetação em função da diversificação dos aspectos considerados.

ABSTRACT

Gomes, Ana Carolina do Rosário. M.Sc; Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. August 2023. Soil attributes in vegetation islands on granitic outcrops in Morro do Itaoca, Campos dos Goytacazes (RJ). Advisor: Prof. Dr. Claudio Roberto Marciano. Co-advisor: Prof. Dr. Gabriel Ramatis Pugliese Andrade.

Inselbergs are rocky outcrops occurring in rock masses, with ancient geological and geomorphological formation, consisting mainly of gneissic and/or granitic rocks. These rocky masses can either form part of the landscape of mountainous areas or rise abruptly above the flatter landscapes that surround them. Inselbergs have islands of soil, coinciding with islands of vegetation, which are surrounded by exposed rock. These islands of rupicolous vegetation are home to species that are highly adaptive and resistant to the particular ecological conditions of these environments, which include constant winds, high temperature variations and thin, acidic soils with low availability of water and nutrients and overheated soils. As occurred in Campos dos Goytacazes (RJ), following Municipal Law 8424 of 2013, which created the “Morro do Itaoca Environmental Protection Area”, many of these massifs, given their ecological weaknesses, are delimited as conservation units and, at the same time, are impacted by the increase in ecotourism and its use for extreme sports. Given this scenario, and with knowledge about these ecosystems still scarce in the literature, studies on the soils of these environments become essential. The present study aimed to characterize physical, chemical and organic matter attributes of Lithic Ustorthents

soils from the Morro do Itaoca, in Campos dos Goytacazes-RJ. Twenty-one soil samples from six islands of rupicolous vegetation were collected in the inselbergs of two slopes of Itaoca, and the results were interpreted based on descriptive statistics, correlation analysis and principal component analysis. During the study it was observed that the soils of the vegetation islands are shallow, strongly acidic and with high levels of organic carbon, aspects resulting from the accumulation of organic materials from rupicolous vegetation. The soils, physically, had a sandy loam texture and low particle density and, chemically, high values of exchangeable and potential acidity and effective and potential cation exchange capacity. It is noteworthy, in relation to the attributes of the soil's organic material, that the total and rubbed fiber contents reflect the environmental conditions of the environment, restricting the advancement of its decomposition. As for the degree of decomposition of the material, this was best represented by the Von Post index, while the sodium pyrophosphate index is better related to the nature of the organic matter. With regard to infrared spectroscopy, among the characteristic bands of organic material, emphasis was placed on those that possibly gave the soil the varying degrees of hydrophobicity perceived in the analyzes for this purpose, using the methods of water drop penetration time, molarity of the ethanol droplet and the intrinsic sorptivity in the initial infiltration. Finally, in the principal component analysis it was observed that the first two components (CP1 and CP2) represented 60.6% of the data variation, being mainly determined by physical and chemical attributes of the soil, while the other components (CP3, CP4 and CP5) accounted for 39.4% of this variation, being determined by other attributes, both chemical and related to the degree of decomposition of organic matter. Despite having a coarse texture and having other physical and chemical attributes driven by the significant presence of organic matter, it could be concluded that the soils of islands with rupicolous vegetation present great variability in the values of these attributes and that, although most of their variability is determined by routinely determined physical and chemical factors, obtaining less usual attributes leads to a better distinction of the vegetation islands due to the diversification of the aspects considered.

1. INTRODUÇÃO

O Morro do Itaoca, situado em Campos dos Goytacazes-RJ e localmente conhecido como Morro do Rato, é um maciço rochoso que abriga diversas paisagens em seu ambiente. Nesse maciço observam-se tanto solos com pedogênese moderada, como Cambissolos, e mesmo avançada, como Argissolos, quanto solos pouco desenvolvidos, como Neossolos Regolíticos e Neossolos Litólicos. Enquanto os primeiros solos comumente apresentam como vegetação a Floresta Estacional Semidecidual, os últimos recobrem parcialmente afloramentos rochosos, configurando o ecossistema denominado *inselberg*.

Os *inselbergs* predominam na face noroeste do maciço do Itaoca, sendo constituídos de afloramentos de rochas graníticas da idade Pré-Cambriana, com pequenas porções recobertas por solos rasos (ilhas de solos). Tais solos são comumente constituídos por material de natureza orgânica, verificando-se sobre esses a ocorrência de ilhas de vegetação rupícola com espécies endêmicas altamente adaptadas/resistentes às condições restritivas locais (Couto et al., 2021).

Em relação à vegetação de *inselberg* encontrada no Maciço do Itaoca, Couto et al. (2021) registraram 69 espécies e 31 famílias de plantas vasculares neste ambiente, sendo as famílias Fabaceae e Bromeliaceae as mais representativas e as espécies *Vellozia plicata* e *Selaginella sellowii* as que apresentaram as maiores frequências relativas, dominâncias relativas e valores de importância e foram as mais bem sucedidas na colonização do afloramento rochoso estudado. Além disso, algumas das espécies endêmicas dos *inselbergs*

do leste do Brasil, tais como *Wunderlichia azulensis* Maguire e G.M.Barroso; *Pseudobombax petropolitanum* A.Robyns; *Tabebuia reticulata* A.H.Gentry; *Vellozia plicata* Mart.; *Begonia ibitiocensis* E.L.Jacques e Mamede; *Alcantarea intermedia* Versieux e Nahoum; *Sinningia bragae* Chautems, M.Peixoto e Rossini e *Pleroma ceciliana* P.J.F.Guim. e Oliveira da Silva, são também endêmicas do Morro do Itaoca (de Paula et al., 2020; Couto et al., 2021; Souza-Buturi, 2022).

Essas espécies limitadas aos *inselbergs* são adaptadas ao ambiente restritivo em que se encontram, por isso observa-se uma vegetação com características diferenciadas em resposta à sazonalidade dos fatores climáticos, à alta exposição solar, à pouca disponibilidade de água e nutrientes, além de ventos constantes e elevada amplitude térmica (Porembski e Barthlott, 2000; Porto et al., 2008; Safford e Martinelli, 2000; Porembski, 2007). Portanto, a vegetação nesses afloramentos rochosos é formada, sobretudo, por espécies de monocotiledôneas herbáceas e também por árvores, arbustos, ervas e trepadeiras (Porembski e Barthlott, 2000; Porembski, 2007; de Paula et al., 2020).

Destaca-se a importância dos afloramentos rochosos como elemento da paisagem com papel tanto na geração e manutenção da biodiversidade como também no fornecimento de serviços ecossistêmicos essenciais (Porembski e Barthlott, 2000; Porembski et al., 2016). Todavia, esses ambientes estão sendo ameaçados devido a ações antrópicas, tais quais as que se observam no Morro do Itaoca, com a presença de atividades de mineração, do ecoturismo, da prática de esportes radicais e do extrativismo de espécies vegetais, resultando no afugentamento da fauna, na perda da biodiversidade e na degradação do próprio maciço (Soffiati, 1998; Alves et al., 2003; Soffiati, 2005; Pessanha et al., 2014; Couto et al., 2021).

Diante desse cenário, os *inselbergs* devem ser alvos prioritários de estudos para subsidiar sua preservação e futura recuperação. Essa priorização se justifica tanto pelas peculiaridades desses ambientes, em particular pela singularidade de suas espécies vegetais, quanto pela carência de trabalhos realizados em tais ecossistemas, apesar de sua extrema importância ecológica. Além disso, como a maior parte dos trabalhos em *inselbergs* são para realizar levantamentos florísticos ou geológicos, destaca-se a importância de conduzir estudos sobre suas ilhas de solo, visto que são escassos (Volkoff et al., 1984; Benites et al., 2001; Dias et al., 2002; Benites et al., 2003; Simas et al., 2005; Benites et al.,

2005; Benites et al., 2007). Portanto, a caracterização desses solos, além de disponibilizar informações sobre os atributos dos mesmos, poderá servir de subsídio para o desenvolvimento de práticas de conservação e de uso sustentável do ambiente (Jacomine, 1996; Santos et al., 2012).

Considerando que a realização de estudos em *inselbergs* é fundamental para o acúmulo de conhecimento acerca dos diversos aspectos do meio físico desses ambientes (geologia, geomorfologia, pedologia, clima) e da interação desses aspectos entre si, o objetivo do presente trabalho foi caracterizar os solos de ilhas de vegetação rupícola nos afloramentos rochosos no Morro do Itaoca, em Campos dos Goytacazes (RJ), quanto a seus atributos físicos, químicos e da natureza da matéria orgânica, buscando identificar a relação entre tais atributos e suas contribuições para a diversidade edáfica nessas ilhas de vegetação.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Solos

O solo é um recurso essencial na biosfera, possuindo características complexas e dinamismo e tendo papel primordial para o desenvolvimento das plantas, a atividade microbiana e a produção de alimentos, entre outros. O solo é produto da transformação dos minerais e da matéria orgânica presentes na superfície da crosta terrestre, mas não se resume a um material inerte que reflete a composição do seu material de origem, constituindo-se e formando-se como resultado do efeito de diversos fatores ambientais ativos ao longo dos anos (Anjos et al., 2008). Desse modo, a formação e o desenvolvimento do solo estão condicionados aos diferentes processos pedogenéticos, geomorfológicos e biológicos que sucedem no material de origem (Schaetzl e Anderson, 2005).

O solo é um sistema de corpos naturais tridimensionais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, que contêm materiais minerais e orgânicos, que podem se desenvolver na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por ações antrópicas (EMBRAPA, 2013). Logo, o solo está submetido a constantes alterações, a partir de processos de adição, remoção, translocação e transformação de natureza química, física e biológica dos materiais que o compõem (Jenny, 1941).

Em relação aos solos de regiões tropicais, o clima caracteriza-se como fator imprescindível para a sua formação, pois as altas temperaturas e os altos índices de precipitação pluviométrica desencadeiam reações químicas e físicas

que levam à transformação do material de origem. Portanto, o clima é o fator que determina a natureza e a velocidade das reações do intemperismo mineral e da alteração da matéria orgânica numa dada região (Toledo et al., 2001).

No caso de regiões com temperaturas elevadas e baixo índice pluviométrico há o predomínio do intemperismo físico, no qual a fragmentação das rochas ocorre por meio de esforços mecânicos (Toledo et al., 2001), decorrentes principalmente da amplitude térmica entre o dia e a noite. A expansão com o aumento da temperatura e a contração com o resfriamento se dá de forma diferenciada entre os diversos minerais constituintes das rochas, gerando os esforços contínuos que causam fraturas na sua superfície, tanto produzindo fragmentos menores (matacões, calhaus, cascalhos) que compõem o “esqueleto do solo” quanto levando à individualização de grãos com diâmetro menor que 2 mm que compõem a “terra fina” (Fontes, 2012).

No que diz respeito ao intemperismo químico, a temperatura influencia diretamente na velocidade das reações químicas e dos processos biológicos no solo, mas a água é fundamental para sua ocorrência. Isso decorre do fato de que a hidrólise é a principal reação partir da qual as bordas da estrutura cristalina dos minerais vão sendo alteradas e os cátions liberados para a solução do solo, de que a água promove a hidratação dos constituintes do solo e de que a água excedente atua no transporte de partículas e solutos durante o desenvolvimento do perfil do solo (Toledo et al., 2001). A água, além de atuar como solvente na maior parte das reações químicas do intemperismo, também constitui um reagente que transporta exsudatos de raízes e íons H^+ (Fontes, 2012).

Pelo intemperismo químico certos minerais provenientes da rocha matriz, os minerais primários, podem ser degradados por completo, mediante solubilização por reações congruentes, ou parcialmente, por reações incongruentes que produzem solutos e minerais secundários (Fontes, 2012). Destaca-se que o avanço do intemperismo depende da manutenção do desequilíbrio químico das reações, condição que naturalmente se verifica em ambientes onde a elevada precipitação leva a altas taxas de percolação de água e conseqüente lixiviação de solutos produzidos, permitindo a continuidade e mesmo a aceleração da alteração dos minerais do material de origem (Essington, 2005; Sposito, 2008; Melo et al., 2009). Portanto, em regiões de clima quente e úmido ocorre intenso processo de intemperismo químico, no qual a hidrólise dos

silicatos com o tempo remove os cátions básicos e a sílica e deixa permanecer o alumínio e o ferro, que precipitam devido à sua menor solubilidade na faixa de pH que usualmente ocorre. Por outro lado, em ambientes com pouca precipitação pluvial, a baixa lixiviação de solutos faz com que as reações atinjam um quase equilíbrio químico, de modo que os minerais permanecem praticamente insolúveis ou sua decomposição ocorra de maneira muito lenta, acarretando a predominância do intemperismo físico e a persistência de minerais primários, com pouca alteração da rocha matriz (Essington, 2005; Sposito, 2008; Melo et al., 2009)

Nesta perspectiva, observa-se que o solo passa por diversas transformações, desde seu estágio inicial, quando se constitui por uma camada fina de material intemperizado, passando pelo intermediário, quando vai gradualmente se espessando e estratificando, até alcançar sua maturidade, quando se diferencia em camadas e horizontes e passa a exibir propriedades morfológicas características quanto à textura, cor, estrutura, entre outros (Anjos et al., 2008).

A formação do solo, numa abordagem clássica, decorre dos fatores material de origem, clima, relevo e organismos, e do decurso do tempo (Jenny, 1941; Ranzani, 1969; Curi et al., 1993). Em adição ao abordado acima acerca do material de origem e clima, acrescenta-se que os organismos são condicionados e condicionantes do intemperismo e da formação do solo (Lima, 2001; Ferraz et al., 2008; Santos et al., 2018), pois, dentre outros aspectos, tanto se beneficiam com os nutrientes liberados quanto fornecem substrato orgânico e interferem no ambiente físico e químico onde ocorrem as alterações. Quanto ao relevo, trata-se de um fator cuja atuação é indireta, condicionando o ambiente em que os demais fatores agem quanto, por exemplo, à incidência de radiação, à dinâmica da água no meio físico e à predisposição para que os materiais minerais e orgânicos sejam acumulados ou removidos (Oliveira et al., 1992; Carmo, 2006)

Em locais com elevada declividade os produtos do intemperismo são parcialmente ou totalmente removidos pela ação eólica ou hídrica, fazendo com que seja comum a ocorrência de afloramentos rochosos e de solos rasos. Os solos desses ambientes encontram ancoragem em locais de abaciamento do relevo e/ou de elevação da rugosidade superficial da rocha (Lima, 2001; Carmo, 2006). Soma-se a isso a estabilização decorrente da presença do sistema

radicular das plantas que, em um segundo momento, neles se estabelecem. Tais solos são, portanto, possivelmente constituídos por produtos do intemperismo local, por materiais minerais e orgânicos transportados (sedimentos) e por materiais orgânicos produzidos localmente (Oliveira et al., 1992; Benites et al., 2003; Carmo, 2006). A situação acima descrita ocorre no Morro do Itaoca, em Campos dos Goytacazes-RJ, sendo que na face noroeste desse *inselberg* predominam afloramentos rochosos, com pequenas porções recobertas por solos bastante rasos em que se estabelecem ilhas de vegetação.

O solo é primordial para o balanço entre os fatores e processos físicos, químicos e biológicos da biosfera e para o equilíbrio dessas relações (Leite e Araújo, 2007). Além disso, possui funções para a sustentação da vida e do habitat para pessoas, animais e outros organismos, servindo como meio para o crescimento vegetal devido ao suporte físico e à disponibilização de água, nutrientes e oxigênio, essenciais para as plantas. O solo atua, ainda, na regulação do ciclo hidrológico da superfície terrestre, na degradação de poluentes (protegendo as águas subterrâneas) e na conservação das reservas minerais e de matérias-primas de interesse antrópico (Larson e Pierce, 1994; Karlen et al., 1997; Ferraz et al., 2008; Vezzani e Mielniczuk, 2011). Logo, o solo é fundamental para a biosfera e, assim, é imprescindível pensar em estratégias para sua conservação, visto seu papel na geração e na manutenção dos ecossistemas (Leite e Araújo, 2007; Ferraz et al., 2008; Vezzani e Mielniczuk, 2011).

2.1.1 Solos de afloramentos rochosos

Os solos associados a afloramentos rochosos de diferentes embasamentos geológicos, como granitos e gnaisses, arenitos/quartzitos, rochas ferruginosas e rochas calcárias, possuem características únicas e são pouco desenvolvidos, apresentando atributos fortemente influenciados pelos materiais de origem (Benites et al., 2007).

A geomorfologia também altera as características do solo, como, por exemplo, a profundidade e a drenagem (Messias et al., 2011). Dessa forma, esses solos em contato direto com a rocha geralmente são rasos, ácidos, pobres em nutrientes e apresentam baixos valores de saturação por bases, soma de bases e CTC e grande proporção de partículas grossas (Messias et al., 2013). Destaca-se que os afloramentos rochosos detêm um número considerável de

pedoambientes e, dependendo da topografia da área, um mosaico de solos em diferentes estágios de desenvolvimento pode ocorrer, com solos muito rasos em encostas íngremes e solos mais profundos em áreas mais estáveis (Benites et al., 2007).

Devido às características de pouco desenvolvimento e profundidade que os solos associados aos afloramentos rochosos apresentam, eles são, em geral, de acordo com Benites et al. (2007), classificados como Neossolos Litólicos pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 1999). Esses solos são frágeis e suscetíveis à lixiviação, apresentando níveis variáveis de matéria orgânica, podendo apresentar alto teor de matéria orgânica fíbrica devido ao acúmulo de matéria orgânica leve derivada de resíduos vegetais não decompostos (Benites et al., 2007)

Por último, a partir dos estudos sobre os solos em diferentes locais de afloramentos rochosos ferruginosos e quartzíticos (Meguro et al., 1994; Benites et al., 2007; Conceição et al., 2007; Vincent e Meguro, 2008), Messias et al. (2013) verificaram diferenças consideráveis entre as propriedades físicas e químicas desses solos de embasamentos geológicos distintos, destacando como a influência do material de origem é de suma importância, visto que até minúsculas variações nos teores de nutrientes e na acidez podem ser suficientes para desencadear diferenças florísticas nesse ambiente (Conceição et al., 2007; Scarano, 2007).

2.2 Inselbergs (afloramentos rochosos granitóides)

A evolução da paisagem de uma região ao longo do tempo geológico sofre a ação das grandes mudanças climáticas, responsáveis pela alternância dos processos morfoclimáticos completamente distintos entre si (Bigarella et al., 1994). Os *inselbergs* (do alemão, *insel* = ilha e *berg* = montanha, Porembski e Barthlott, 2000) são afloramentos rochosos gnássicos e/ou graníticos, muitas vezes monolíticos, que ocorrem em maciços rochosos que tanto podem compor a paisagem de áreas montanhosas quanto podem ocorrer como morros isolados que despontam abruptamente acima de paisagens mais planas que os cercam. Eles distribuem-se ao longo das zonas climáticas, particularmente em zonas tropicais e subtropicais, porém também pode-se observar sua incidência em zonas temperadas (Porembski, 2007; Pires et al., 2014).

No Brasil, os *inselbergs* são geralmente encontrados no domínio da Caatinga (Ab'Saber, 2003) e ao longo do domínio da Mata Atlântica (Porembski, 2007) compondo, de forma ampla, as paisagens montanhosas desses ambientes. De outro modo, na cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, *inselbergs* ocorrem em morros isolados como o Pão-de-Açúcar (*bornhardts*), que consiste num exemplo clássico da estrutura cupular (*dome-shaped outcrops*) que se destaca como uma forma de relevo que se sobressai acima de uma superfície circundante aplainada de natureza ígnea e solo de textura geralmente grossa (Araújo e Andrade, 2011). Segundo Twidale (1968), a ocorrência mais comum dos *inselbergs* se relaciona com a sua distribuição extensiva nos ambientes continentais, visto que a estrutura da rocha beneficia o desenvolvimento da forma.

Os afloramentos rochosos exercem um papel significativo no desenvolvimento dos solos e da vegetação que se adequa às condições particulares desses ambientes. Esses afloramentos geralmente apresentam condições ecológicas únicas que formam sítios de crescimento com espécies de plantas tolerantes às condições restritivas desses afloramentos (Couto et al., 2021). Devido às particularidades ecológicas encontradas nos *inselbergs*, neles ocorre a incidência de plantas resistentes e adaptadas às condições restritivas, como a pouca disponibilidade de substrato e água, altas variações térmicas, solos superaquecidos, ventos constantes, entre outros (Porembski e Barthlott, 2000). Dessa forma, a vegetação de *inselbergs* é altamente especializada às condições ecológicas nas quais se encontra, sendo nela encontradas adaptações morfológicas, anatômicas e reprodutivas consideradas essenciais para a sobrevivência dessa vegetação nesses ambientes (Porto et al., 2008). Logo, essas ilhas de vegetação rupícola possuem espécies que se distinguem da vegetação que se desenvolve no seu entorno.

A vegetação nesses afloramentos rochosos é formada, sobretudo, de espécies herbáceas (por exemplo, as monocotiledôneas), como também por árvores, arbustos, ervas e trepadeiras (Porembski e Barthlott, 2000; Porembski, 2007; de Paula et al., 2020). As ilhas de vegetação rupícola de *inselbergs* possuem um conjunto típico de habitats fisionomicamente definidos, que ocorrem de forma semelhante em todo o mundo, tais como depressões rasas, fissuras, vegetação epilítica, tapetes de monocotiledôneas, piscinas rochosas e paredes rochosas verticais, circundadas por rocha exposta (Porembski, 2007; Couto et al.,

2021). Cabe salientar que, ao longo dos anos, esses ecossistemas estão sofrendo impactos devido às atividades antrópicas exercidas no local e no seu entorno, como atividades de mineração, retirada de vegetação, coleta de espécies atrativas da flora, entre outros (Pigott, 2000; Porembski, 2000; Martinelli, 2007; Ferreira et al., 2014). Desse modo, esses ambientes estão entre os mais ameaçados e negligenciados no mundo (Ferreira et al., 2014).

2.3 Atributos físicos e químicos do solo

Os atributos físicos dos solos, de acordo com Karlen et al. (1997), referem-se às características, processos ou reações originados por forças físicas, e que podem ser expressos ou descritos em termos físicos ou equações. Desse modo, exemplos de atributos físicos do solo são: textura, estrutura, densidade do solo, porosidade, permeabilidade, fluxo de água, distribuição do tamanho dos poros, entre outros.

Esses atributos do solo influenciam, sobretudo, as relações ar-água, a temperatura e a resistência mecânica do solo (Fageria e Stone, 2006), como também são responsáveis pelos mecanismos de atenuação física de poluentes, como lixiviação e filtração, garantindo condições para a ocorrência dos processos de atenuação química e biológica.

Destaca-se que os atributos físicos do solo vêm sendo utilizados para o estudo de qualidade do solo, visto que a análise desses atributos requer baixo custo para a obtenção dos resultados e que apresentam relação direta com os outros atributos do solo, como os atributos químicos (Mendes et al., 2006). Nessa perspectiva, a qualidade física dos solos torna-se essencial para detectar os possíveis problemas na qualidade desse solo para a vegetação (Vezzani e Mielniczuk, 2009), uma vez que esses atributos estão relacionados no suporte do crescimento radicular, na armazenagem e suprimento de água e nutrientes, nas trocas gasosas e na atividade biológica (Arshad e Martin, 2002).

Os atributos físicos analisados como indicadores de qualidade do solo usualmente são a densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, distribuição dos poros, compactação, resistência à penetração, capacidade de retenção de água, condutividade hidráulica e estabilidade de agregados. Esses atributos variam de acordo com o meio em que se encontram e se alteram com o passar dos anos, de modo que o comportamento do solo de um

ambiente com cobertura vegetal original será diferente de um ambiente com sistema de cultivo. Cabe ainda salientar que o conceito de qualidade do solo está relacionado principalmente com as funções do solo em ecossistemas naturais e agrícolas (Karlen et al., 1997).

Na caracterização física do solo, a análise granulométrica expressa as proporções relativas das diferentes partículas minerais menores que 2 mm, ou seja, areia, silte e argila. A quantificação das partículas nessas classes de tamanho ocorre após sua dispersão (destruição dos agregados), permitindo classificar o solo quanto à proporção por tamanho das partículas individuais de minerais do solo. A classificação em classes texturais possibilita inferências sobre algumas das características de interesse agrônomo e ambiental, como retenção de água, mecanização e erodibilidade (Santos et al., 2018).

A densidade de partículas (D_p) - ou densidade “real” (termo obsoleto) - é a relação entre a massa e o volume das partículas que compõem o solo, correspondendo à densidade média das partículas minerais e orgânicas na amostra de solo, refletindo sua composição média (Santos et al., 2018). De outro modo, a densidade do solo (D_s) - ou densidade global, ou densidade aparente (termo obsoleto) - refere-se à relação entre a massa das partículas sólidas contidas no volume total conhecido da amostra de solo, incluindo o volume tanto das partículas quanto dos poros.

Destaca-se que a densidade de partículas de um solo, estando ele seco ou molhado, compactado ou não compactado, é sempre a mesma, uma vez que a obtenção da massa das partículas pressupõe a subtração da massa de água eventualmente presente em uma amostra de solo, e que o volume de poros não é levado em conta. Em solos minerais em que os constituintes predominantes são o quartzo, os feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades de partículas estão em torno de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$, esse valor médio é comumente adotado para efeitos de cálculo, mas para propósitos científicos a determinação da D_p é necessária.

A densidade do solo é um atributo com estreita relação com as condições estruturais do solo e a sua textura. O tipo de cultivo usado, os manejos adotados e as condições ambientais, como clima e relevo, são fatores preponderantes para a mudança nas suas condições (Arshad e Martin, 2002). Nessa perspectiva, a densidade do solo é a relação existente entre a massa de uma amostra de solo

seca a 105 °C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros (Santos et al., 2018), sendo um atributo que varia com o tempo (por processos naturais) e/ou com práticas de manejo.

Salienta-se que, normalmente, a densidade do solo aumenta conforme se aprofundam as camadas do solo, visto que as pressões exercidas pelas camadas superiores podem reduzir a porosidade (Reinert et al., 2008).

A porosidade do solo - ou porosidade total (P_t) - relaciona-se inversamente à densidade do solo e diretamente à densidade de partículas, sendo usualmente determinada por cálculo a partir dessas duas variáveis (Rabot et al., 2018). Além disso, o espaço poroso pode ser dividido em macroporos e microporos (o que justifica o uso do termo “total” para a P_t), sendo usualmente adotado como limite entre essas duas classes de tamanho de poro o diâmetro de 50 μm .

A porosidade total consiste no espaço não ocupado por componentes minerais ou orgânicos, referindo-se, assim, ao espaço ocupado pelos líquidos e pelo ar em relação ao volume do solo (Santana, 2009), sendo dependente da classe textural dos solos e do seu estado de compactação.

Em relação aos atributos químicos do solo, eles são sensíveis às variações provocadas pelo uso da terra e se relacionam com as funções desempenhadas pelo solo (Duval et al., 2018). Os mais importantes atributos cujas alterações podem ocorrer no tempo são o potencial hidrogeniônico (pH) e os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio e carbono orgânico. São os atributos usualmente mais utilizados em trabalhos de curto período, visto que sofrem reflexos imediatos do uso e manejo e se tornam uma ferramenta bastante útil para interpretar os resultados de análise do solo (Martinazzo, 2006).

O pH do solo é uma escala de medição que representa o antilog da atividade de íons H^+ na solução do solo, que tem influência na disponibilidade de nutrientes (Santos et al., 2018). A partir de sua determinação os solos podem ser classificados como extremamente ácidos (pH < 4,3), fortemente ácidos (pH de 4,3-5,3), moderadamente ácido (pH de 5,4-6,5), praticamente neutro (pH de 6,6-7,3), moderadamente alcalino (pH de 7,4-8,3) e fortemente alcalino (pH > 8,3) (EMBRAPA, 1999). De acordo com Wutke (1972), o conhecimento acerca do pH do solo é fundamental para identificar possíveis problemas de fertilidade do solo.

Outros atributos químicos comumente obtidos são os teores de cátions trocáveis no solo, sendo que os principais são Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ e Al^{3+} . São

determinados utilizando-se uma solução extratora, como, por exemplo, o KCl 1 mol L^{-1} . Esses cátions adsorvidos são então analisados por métodos volumétricos, de emissão ou absorção atômica (Teixeira et al., 2017).

Os cátions trocáveis são de grande interesse prático, principalmente para os trabalhos de fertilidade. Segundo Jackson (1967), a troca catiônica nos solos “é a segunda reação mais importante na natureza, suplantada em importância fundamental somente pelo processo fotossintético das plantas verdes”.

A acidez potencial refere-se à soma da acidez trocável (íons H^+ e Al^{3+} que estão retidos na superfície dos colóides por forças eletrostáticas) com a acidez não trocável (esses mesmos íons retidos por ligações covalentes) (Santos et al., 2018). Desse modo, esse atributo diz respeito ao poder de tampão de acidez do solo.

Por último, a determinação do carbono orgânico (C) em solo é tradicionalmente feita por meio de via úmida pela oxidação com dicromato de potássio (Walkley e Black, 1934), no qual a partir da oxidação da matéria orgânica do solo o dicromato reduzido na reação equivale ao carbono orgânico (Santos et al., 2018). Portanto, a determinação do C acontece de forma indireta em função da reação do carbono presente nos compostos orgânicos com o dicromato. Mais modernamente, a determinação do C tem sido feita por analisadores automatizados a partir da combustão a seco de uma pequena amostra de solo (Teixeira et al., 2017).

2.4 Atributos físico-hídricos do solo e hidrofobicidade

A determinação dos atributos físicos-hídricos do solo, como infiltração, condutividade hidráulica e sortividade, demanda a realização, em campo ou laboratório, de ensaios de infiltração com equipamentos desenvolvidos para esta finalidade. Destaca-se que a entrada e o movimento da água no solo estão atrelados a diversos fatores, como densidade, grau de agregação, porosidade, textura, estrutura, cobertura vegetal, umidade inicial, entre outros aspectos (Klar, 1984; Bertoni e Lombardi Neto, 1990; Araújo Filho e Ribeiro, 1996).

A dinâmica de água no solo depende de diversos fatores, tais como a heterogeneidade do perfil, as condições atmosféricas, a cultura agrícola e seu manejo, entre outros (Souza et al., 2014). Salienta-se que a determinação desses atributos físicos-hídricos demanda um significativo tempo, visto que esses

atributos apresentam grande variabilidade espacial, demandando, portanto, um elevado quantitativo de ensaios de campo e/ou número de amostras para se ter uma resposta representativa da área (Guimarães et al., 2010).

O movimento da água no solo é decorrente do gradiente potencial total (quociente entre a diferença de potencial total em dois pontos e a distância entre esses pontos), o qual ocorre no sentido do potencial decrescente, sendo sua intensidade controlada pelo meio físico (Reichardt e Timm, 2004). Destaca-se que a velocidade de deslocamento da água no solo é conhecida como densidade de fluxo de água, que representa o volume de água que se desloca no solo por unidade de tempo e por unidade de área (Libardi, 2005).

Em relação à infiltração, esta consiste na entrada de água no solo, a qual ocorre em resposta ao gradiente de potencial total (Ψ_t) entre a água livre que chega à sua superfície e a água retida na matriz do solo. Nos momentos iniciais da infiltração a entrada de água no solo é determinada quase que exclusivamente pelo gradiente de potencial mátrico (Ψ_m), associado à umidade do solo, e também dependente da geometria porosa do meio. A taxa de infiltração é inicialmente elevada como resposta ao grande gradiente de potencial mátrico, mas no decorrer do tempo diminui até ficar constante, atingindo a “velocidade de infiltração básica”. Nesse momento da infiltração a saturação do solo faz com que o deslocamento da água passe a ocorrer exclusivamente em função do gradiente de potencial gravitacional, principalmente através da macroporosidade do solo (Reichardt e Timm, 2004).

A sortividade (S) refere-se à capacidade de um solo, nos momentos iniciais da infiltração, absorver água em relação à sua umidade inicial por meio das forças capilares, ou seja, em resposta ao gradiente de potencial mátrico (Philip, 1957; Libardi, 2005; Leeds-Harrison e Youngs, 1997).

A condutividade hidráulica consiste no “coeficiente que expressa a facilidade com que a água é transportada através do meio poroso e que depende tanto das propriedades do meio como das do líquido” (Libardi, 1995). A condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) permite que se conheça a capacidade de transporte de água, solutos e substâncias químicas no solo, sendo seu valor usado nos cálculos desses fluxos, de modo que a caracterização de K_0 deve ser bem-feita para que eventuais erros em sua medição não sejam propagados (Mesquita e Moraes, 2004).

Em relação à afinidade água-solo, usualmente assume-se que as partículas do solo são perfeitamente hidrofílicas e que o ângulo de contato água-solo é $\alpha = 0^\circ$ (Libardi, 2005). Nessa condição, a penetração da gota de água no solo se daria quase instantaneamente, em até poucos segundos, de modo que esses solos seriam “perfeitamente molháveis”, já que o cosseno do ângulo de contato água-solo seria máximo (pois $\cos 0^\circ = 1$). Na maioria dos casos, entretanto, o ângulo de contato pode se diferenciar significativamente de $\alpha = 0^\circ$ (Dekker et al., 2009; Vogelmann et al., 2010; Lopes et al., 2021), podendo esse valor tanto estar abaixo de 90° , no qual os solos ainda são molháveis, mas classificados como “subcriticamente hidrofóbicos” ou “subcriticamente hidrorrepelentes” (Orfánus et al., 2014), quanto acima de 90° , em que os solos são considerados “não-molháveis”, sendo identificados como hidrofóbicos ou hidrorrepelentes, com $\cos \alpha$ assumindo valores negativos (Smettem et al., 2021).

O nível de afinidade água-solo pode ser identificado a partir de um teste bastante simples, o teste de “tempo de penetração de gotas de água” (TPGA). Destaca-se que em solos subcriticamente repelentes ($\alpha \leq 90^\circ$) a penetração da gota de água é muito rápida, dificultando que para tempos curtos tal teste permita distinguir adequadamente diferentes graus de afinidade água-solo. Para esses solos, o índice de hidrorrepelência (R) pode ser obtido pelo método da sortividade intrínseca (S_i) medida no início da infiltração, sendo R correspondente ao quociente entre a S_i obtida com etanol (líquido cujo ângulo de contato possa ser assumido como zero) e a S_i obtida com água (Moody e Schlossberg, 2010).

Para solos hidrorrepelentes ($\alpha > 90^\circ$), em que a penetração da gota de água leva mais tempo para ocorrer do que o tempo crítico estabelecido (5 ou 10 s), o teste da “molaridade de gotas de etanol” (MGE) é preferível tanto por ser mais rápido e facilitar a distinção de diferentes graus de hidrofobicidade, quanto por permitir que seja feita a estimativa do ângulo de contato água-solo.

2.5 Origem, relação com outros atributos e medição da hidrofobicidade

A hidrofobicidade do solo é um fenômeno geralmente associado à presença de substâncias hidrofóbicas compondo a matéria orgânica do solo e recobrando as partículas minerais. Assim, tanto a origem (tipo) dos materiais orgânicos quanto as condições nas quais o processo de humificação ocorre são determinantes para a manifestação ou não da hidrorrepelência em solos, como

exemplifica Busczo (2005):

A repelência do solo à água é função de muitos fatores, tais como a quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo, o histórico de chuvas e secas, a umidade relativa do ar, a textura e a umidade do solo. A dependência destes diversos fatores leva a uma variabilidade espacial e temporal expressiva desse fenômeno (Buczko et al., 2005).

Deste modo, observa-se que diversos fatores podem levar à manifestação do fenômeno de repelência à água nos solos, como o caso da cobertura vegetal, fator geralmente mais associado ao fenômeno de hidrofobicidade do solo visto que a vegetação local contribui com a liberação de compostos hidrofóbicos através da deposição de restos vegetais e de sua decomposição (Ellerbrock et al., 2005; Mataix-Solera et al., 2007; Volgemann et al., 2015).

Dentre as principais substâncias que são sintetizadas pelas plantas que contribuem para o aumento do grau de hidrofobicidade do solo estão as ceras, os lipídeos e as resinas, além dos exsudados hidrofóbicos produzidos pelas raízes das plantas, bactérias e hifas de fungos (Ellerbrock et al., 2005; Roper, 2004; Bayer e Schaumann, 2007; Rillig et al., 2010).

Os microrganismos, ao liberarem exsudados hidrofóbicos (Hallet et al., 2001; Schaumann et al., 2007; Volgemann et al., 2015) que atuam na decomposição do material orgânico, também podem ser responsáveis pela repelência à água em solos. Destaca-se que alguns fungos possuem hifas e micélios com superfície recoberta por substâncias hidrofóbicas que podem gerar aumento da repelência à água do solo (Feeney et al., 2006; Rillig et al., 2010).

Incêndios e queimadas também constituem fatores condicionantes para a ocorrência de hidrofobicidade no solo, visto que os mesmos geram alterações físicas, químicas, mineralógicas e biológicas no solo (Laskar et al., 2021; Xifré-Salvadó et al., 2021; Francos et al., 2018; Ulery et al., 2017), as quais são associadas à temperatura e o tempo de duração do fogo. Além de acarretar no secamento do solo, a ocorrência de fogo pode alterar compostos orgânicos ou formar novos compostos que, sendo hidrofóbicos, podem levar ao aumento do grau de repelência do solo à água (Granged et al., 2011; Vogelmann et al., 2012). Ademais, o aumento da temperatura promove a volatilização desses compostos que, após resfriamento, condensam e recobrem a superfície das partículas minerais, tornando-as hidrofóbicas e prejudicando ainda mais a infiltração de água

e o umedecimento do solo (Xifré-Salvadó et al., 2021).

Além dos fatores citados acima, a composição granulométrica, a umidade do solo e o pH podem estar indiretamente associados ao fenômeno de repelência do solo à água (Volgemann et al., 2015). Destaca-se que a ação antrópica também gera efeitos no solo, podendo contribuir para o fenômeno de repelência à água no solo, através, por exemplo, da poluição do solo com acidentes de derramamento de poluentes ou da provocação de incêndios, entre outros (Pérez et al., 1998; Gerke et al., 2001).

Cabe salientar que o aumento do grau de repelência à água no solo, em muitos casos, está diretamente associado à presença de maiores teores de carbono orgânico no solo (Hallet et al., 2001; Ellerbrock et al., 2005; Vogelman et al., 2010, 2013).

Observa-se que solos com características hidrofóbicas apresentam uma elevada variabilidade espacial e temporal (Volgemann et al., 2010; Madsen et al., 2011). Essa característica traz como impacto a redução da afinidade do solo pela água, de tal forma que os solos resistem ao umedecimento por períodos que podem levar segundos, horas ou até semanas. Portanto, a hidrofobicidade acarreta na redução da capacidade de infiltração de água no solo, aumento do escoamento superficial, aceleração da erosão e padrões não uniformes de infiltração.

A repelência do solo à água se manifesta com grande diversidade em diferentes solos sob distintas condições climáticas (Doerr et al., 2007), e o estudo desse fenômeno vem sendo desenvolvido em diversos solos em várias partes do planeta com o emprego de diversas metodologias.

Muitos métodos para medir a repelência à água nos solos foram elaborados, sendo o método do tempo de penetração das gotas de água (TPGA) (Letey, 1969) bastante simples, pois consiste em medir o tempo necessário para que a gota seja absorvida completamente pelo solo. A partir dessa técnica pode-se classificar os solos em duas grandes categorias, aqueles com ângulos de contato acima de 90° (repelentes à água) e abaixo de 90° (não repelentes à água) (Watson e Letey, 1970).

Em relação a medir o ângulo de contato líquido-sólido ou a energia livre da superfície do solo, os métodos geralmente empregados são o método da gota séssil (Bachmann et al., 2000), o método da ascensão capilar (Michel et al., 2001;

Siebold et al., 1997), o método da molaridade da gota de etanol (Watson e Letey, 1970; King, 1981; Roy e McGill, 2002) e o método de tensão superficial (Watson e Letey, 1970).

Segundo Leelamanie et al. (2008), as duas formas mais comuns de identificar a repelência de um solo à água são medir o ângulo de contato solo-água, diretamente relacionado com o grau de repelência, ou aplicar o método de penetração das gotas de água (TPGA), relacionado à persistência da dificuldade da água penetrar no solo. Além disso, segundo os mesmos autores, os dados obtidos no teste de TPGA podem ser relacionados com os distintos ângulos de contato de um solo.

Além do TPGA, outro método muito utilizado no estudo de hidrorrepelência do solo é o da molaridade da gota de etanol (MGE), que indica o quão forte pode ser a repelência de um solo em relação à água no momento de sua aplicação. Desse modo, esse teste revela uma medida indireta da tensão superficial da superfície do solo (Doerr, 1998).

No método de penetração das gotas de água, quando a mesma não penetra imediatamente no solo, demonstra-se que a tensão superficial do solo está abaixo daquela da gota, assim a infiltração da gota de água reflete o tempo em que a tensão superficial do solo permanece sendo maior do que a da gota de água (Doerr, 1998).

No método de MGE¹ utilizam-se as tensões superficiais conhecidas de soluções padronizadas de etanol diluídas em água e mede-se o tempo que foi necessário para o solo absorver as gotas da solução de etanol (Watson e Letey, 1970). Nesse método, as soluções com concentrações conhecidas variam de 0 a 5 mol/L, com incrementos de 0,2 mol/L, e a repelência do solo será representada através da molaridade da solução de etanol a partir da qual as gotas penetram na superfície do solo em um tempo crítico de 10 segundos. Salienta-se que o tempo crítico de penetração varia de acordo com os autores, visto que em seu estudo King (1981) utilizou um tempo de infiltração de 5 segundos, enquanto que Crockford et al. (1991) utilizaram um tempo de 3 segundos, e Harper e Gilkes (1994) usaram o tempo 10 segundos.

De acordo com Doerr (1998), uma gota que possui tensão superficial maior do que a tensão superficial do solo permanecerá por algum tempo sobre o mesmo

¹ Desenvolvido a partir da classificação do ângulo de contato $> 90^\circ$ no método de Watson e Letey (1970).

até ser absorvida, enquanto que uma gota com tensão superficial menor do que a encontrada no solo instantaneamente penetrará no solo.

Em solos altamente hidrofóbicos observa-se a existência de uma relação bem próxima entre os dois métodos, enquanto que em solos moderadamente hidrofóbicos não se verifica o mesmo (Doerr, 1998).

Cabe comentar que tanto o método de TPGA como o MGE têm sido empregados por diversos autores com diferentes padrões e classificações, de modo que a comparação entre os resultados desses vários estudos torna-se muitas vezes difícil.

De acordo com Roy e McGill (2002), o ângulo de contato pode ser indiretamente calculado a partir dos dados obtidos no método de MGE. Salienta-se que outros métodos também são utilizados para a obtenção do ângulo de contato, como o caso do método da ascensão capilar (CRM) (Letey et al., 1962; Michel et al., 2001; Siebold et al., 1997), usado para medir ângulo de contato em meio poroso, como constituintes do solo utilizando-se de princípios físicos básicos no cálculo com a aplicação da equação de Washburn (1921).

Além disso, os compostos hidrofóbicos contidos no solo, de acordo com Vogelmann et al. (2013), impactam diretamente nos processos de infiltração de água, pois estes compostos promovem mudanças na sortividade do solo. Desse modo, destaca-se que a repelência à água está intrinsecamente ligada à sortividade, parâmetro hidrológico que pode ser reduzido devido à quantidade de compostos orgânicos no solo (Doerr et al., 2000; Vogelmann et al., 2013).

Destaca-se que na década de 1990, a partir dos estudos desenvolvidos por Leeds-Harrison et al. (1994) e Leeds-Harrison e Youngs (1997), surgiu o mini-infiltrômetro de tensão, que permitiu a realização dos ensaios de infiltração em laboratório em pequenos agregados do solo. Esse equipamento se constitui como um pequeno tubo, tendo uma ponta mergulhada em um reservatório com água sobre uma balança, enquanto a outra ponta se encontra posicionada fora do reservatório, no mesmo nível ou pouco acima da superfície da água. Além disso, nesta segunda ponta há uma pequena esponja saturada com água que se encontra sob tensão zero ou de poucos milímetros de coluna de água, dependendo de sua posição em relação à superfície da água no reservatório. O processo de infiltração de água no agregado se inicia quando o mesmo entra em contato com a ponta da esponja livre e absorve água, sendo o fluxo alimentado

pela água que ascende através da extremidade do tubo que se encontra no reservatório. Desse modo, observa-se uma infiltração com uma taxa equivalente ao quociente entre a variação no peso do reservatório sobre a balança e o intervalo de tempo.

O índice de repelência (R) consiste de um parâmetro que identifica a hidrofobicidade do solo, visto que o índice de repelência pode aumentar ou diminuir em um solo, e o mesmo depende da relação entre a sortividade da água e do etanol, influenciados pelo potencial mátrico, porosidade e pela hidrofobicidade das partículas de um solo (Vogelmann et al., 2013).

A utilização do etanol nos testes de sortividade, segundo Vogelmann et al. (2017), deve-se pelo fato deste líquido apresentar baixa viscosidade e tensão superficial, estabelecendo condições de infiltração no espaço poroso e também proporcionando maior umedecimento da superfície em relação à água.

Desse modo, Vogelmann et al. (2013) relatam que o potencial mátrico e a hidrofobicidade das partículas do solo influenciam o fenômeno da sortividade. Em solos arenosos é comum observar a ocorrência do revestimento da superfície das partículas com substâncias orgânicas, o que é facilitado pelo fato da área superficial dessas partículas ser relativamente pequena por unidade de volume, aumentando o índice de repelência do solo.

2.6 Atributos da matéria orgânica do solo

O solo forma-se e desenvolve-se a partir de processos pedogenéticos que decorrem da interação entre os fatores do ambiente, como o clima, a vegetação, o material de origem. A matéria orgânica possui influência fundamental nesses processos, visto que tem “propriedades que refletem o efeito combinado de todos os fatores de formação e, de acordo com a interação entre a fração orgânica e mineral, pode determinar o processo pedogenético” (Anjos et al., 2008).

O teor de matéria orgânica varia de solo para solo, sendo o clima e a vegetação fatores determinantes dessa variação nos diferentes solos. Como exemplo, observa-se nos Latossolos, onde são frequentes, no horizonte B, teores na faixa de 2 a 5 g kg⁻¹ de carbono orgânico, intensamente humificado, enquanto o contrário é encontrado nos Organossolos, cujo teor mínimo de carbono orgânico é de 80 g kg⁻¹ de solo no horizonte orgânico (EMBRAPA, 2006).

Destaca-se que a matéria orgânica do solo é de suma importância, visto que desempenha um papel essencial na manutenção das funções do solo, pois melhora a CTC, melhora a agregação (havendo uma maior estabilização do solo), reduz a erosão, é fonte de nutrientes para as plantas como também atua na estimulação do crescimento vegetal. Também é fonte de energia para os microrganismos, a partir da qual fazem o aporte de carbono, entre outros. Desse modo, pode-se perceber como a matéria orgânica é fundamental, e como a estabilização da mesma é essencial para que não ocorram perdas desse material do solo. Nesta perspectiva, observa-se que a quantidade e a qualidade da matéria orgânica influenciam as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos.

Desse modo, é necessário caracterizar e conhecer a composição e as funcionalidades da matéria orgânica do solo para um melhor entendimento das propriedades da mesma. Por isso, é fundamental entender a dinâmica da matéria orgânica do solo na perspectiva de um equilíbrio dinâmico em um sistema aberto que possui grande complexidade, ao se tratar de uma mistura de todos os compostos encontrados nos organismos vivos em distintos estágios de transformação (Novotny et al., 2022).

Por fim, para buscar compreender e entender a matéria orgânica do solo, muitos métodos são utilizados na literatura, como os métodos de espectroscopia para analisar e determinar a composição química dessa matéria. A determinação da quantidade de C ocluído no interior dos agregados do solo pode ser relevante para que se possa entender a relevância do sistema analisado e perceber como o mesmo contribui para o processo do sequestro de C no solo e para sua acumulação. A ressonância magnética nuclear (RMN) consiste numa técnica onde é possível determinar a estrutura da matéria orgânica do solo. Isto significa que, a partir desse método, se pode saber qual estrutura pode estar associada a determinado pico que aparece na leitura do espectro. Além disso, a partir do uso da espectroscopia de RMN de C no estado sólido, é possível observar *in situ* a qualidade da matéria orgânica do solo, isto é, sem necessidade de extração dos compostos orgânicos ou de frações humificadas (Preston, 1996; Conte et al., 2004; Canellas et al., 2007).

Em adição, pode-se também caracterizar o grau de decomposição do material orgânico, seja para identificar sua estabilidade no ambiente ou para se entender sua rápida mineralização, visto que os resíduos vegetais no solo

passam por diversos processos de alteração, como a decomposição e a humificação em distintos graus. Para identificar esse grau de decomposição, informações qualitativas sobre o comportamento da amostra de solo durante o seu manuseio podem ser utilizadas, como no caso da escala de decomposição de Von Post (Stanek e Silc, 1977; Santos et al., 2012). Nesta abordagem, pode-se avaliar a coloração de uma tira de papel cromatográfico colocada em contato com o líquido extraído da amostra de solo tratada com pirofosfato de sódio, obtendo-se um índice a partir do valor e croma na matiz 10 YR da carta de cores de Munsell (Santos et al., 2018). Outra abordagem é a quantificação dos teores de fibras vegetais no solo, onde são analisados o conteúdo de fibras não esfregadas (fibras totais) e de fibras esfregadas (Santos et al., 2018).

2.7 Espectroscopia de infravermelho

O uso da técnica de espectroscopia de reflectância ou absorbância de luz na região do infravermelho é considerada rápida, visto que consegue analisar várias amostras durante uma única leitura, feita de modo rápido. Entretanto, a preparação da amostra para a análise no equipamento é um processo mais demorado, pois precisa passar pelas etapas como a secagem do material, peneiramento e pré-tratamento com ácido clorídrico.

Nesta perspectiva, essa técnica determinará a composição da matéria orgânica do solo a partir de bandas de absorção, possibilitando reconhecer quais são os grupos funcionais que vão estar presentes na amostra analisada, por meio das localizações espectrais da absorção de infravermelho que são indicativas de ligações dos grupos funcionais (e.g.: alifático, amídico, aromático e carboxílico) (Viscarra-rossel et al., 2008; Calderón et al., 2011; Carvalho et al., 2020) fornecendo informações importantes acerca da composição da matéria orgânica do solo.

Na análise da matéria orgânica do solo pela técnica da espectroscopia no infravermelho geralmente utiliza-se o infravermelho médio, correspondente ao intervalo de frequência de 400 a 4000 cm^{-1} , visto que nessa faixa de absorção as moléculas estarão mais excitadas e, conseqüentemente, observar-se-á a formação de um espectro e a possibilidade de uma melhor leitura do mesmo, como exemplifica Madhavan et al. (2017):

A espectroscopia de reflexão difusa de infravermelho médio (MIRS) é uma técnica rápida, não destrutiva e de baixo custo, demonstrou ser adequada para análise de rotina de uma variedade de propriedade do solo (Madhavan et al., 2017)

Nessa técnica, o feixe de luz produzido e emitido na região do infravermelho é dividido em raios separados incidindo sobre a amostra, em que uma parte desses raios irão passar pela amostra, enquanto que outra passará pela referência, o KBr (brometo de potássio, o qual se mistura com a amostra macerada). Desse modo, ambos os feixes serão refletidos de volta ao detector e, a partir dessa detecção os dados são coletados e o espectro é gerado.

A espectroscopia de infravermelho se divide em dispersiva e não dispersiva. A dispersiva apresenta um feixe simples ou feixe duplo, destacando que tanto a técnica não dispersiva (FTIR) como a dispersiva (DRIFT) utilizam uma equação matemática, a transformada de Fourier, onde verifica-se um espectro mais limpo, visualmente mais fácil de realizar a interpretação e de compreender quais as bandas de absorção que estão presentes na amostra (Berthomieu e Hienerwadel, 2009; Forato et al., 2010). Dessa forma:

A espectroscopia na região do infravermelho com transformada de Fourier (IVTF) ou espectroscopia IV tem uma larga faixa de aplicações que vai desde a análise de moléculas pequenas até sistemas complexos como células e tecidos (Berthomieu e Hienerwadel, 2009)

Cabe salientar que, ao analisar uma amostra, pode-se encontrar várias bandas de absorção acontecendo ao mesmo tempo, resultando, assim, em espectros mais complexos, significando uma interpretação mais difícil do mesmo. Entretanto, uma amostra contendo um material orgânico de solo menos heterogêneo e em menores quantidades resulta na obtenção de bandas de absorção menos intensas.

De forma geral, a radiação no infravermelho é absorvida pelas moléculas da amostra e convertida em energia de vibração molecular, causando excitação das moléculas que torna possível assim a leitura pelo aparelho.

A espectroscopia no infravermelho possui a vantagem de ser rápida na análise da amostra e possuir um baixo custo para sua execução. Entretanto, a partir dessa técnica não é possível quantificar os compostos presentes, mas sim conhecer os grupos funcionais presentes nas amostras de solos analisadas.

Cabe salientar que na literatura pertinente é possível encontrar estudos avaliando a composição química com FTIR, em distintos sistemas de uso da terra

(Soriano-Disla et al., 2014; Filep et al., 2016; Rennert et al., 2018). Esses autores observaram que a matéria orgânica do solo apresenta bandas características de absorção, sendo que Sarkhot et al. (2007), em seu trabalho, destacaram a ocorrência de bandas que sugerem a presença de polissacarídeos, amidas, ésteres e compostos aromáticos.

Além disso, na literatura também se observam bandas que sugerem a presença de compostos tipicamente hidrofóbicos, sendo uma delas as vibrações de dobramento C-H que, com frequência, são úteis para determinar se grupos metila ou metileno estão presentes em uma molécula (Hesse et al., 1984; Capriel et al., 1995; Ellerbrock et al., 2009).

Em geral, assume-se que a hidrofobicidade da matéria orgânica do solo é causada pela presença dos grupos metila, metileno, metil alifáticos e aromáticos (olefínicos). Destaca-se que as vibrações de estiramentos e alongamentos de ligações C-H alifático geralmente aparecem na região de absorção IR de 3000-2800 cm^{-1} (Capriel et al., 1995), sendo que na faixa entre 3000-3100 cm^{-1} observa-se alongamento C-H olefínico (Capriel et al., 1995).

Ademais, assume-se que as bandas de absorção que refletem principalmente compostos hidrofílicos são: (i) grupos contendo C=O; (ii) anéis aromáticos, geralmente considerados como indicativo de grupos hidrofóbicos, entretanto podem mostrar propriedades hidrofílicas se forem conjugados com grupos C=O (Morrison e Boyd, 1983); e (iii) as moléculas de água nas camadas de hidratação também indicam grupos funcionais com comportamento hidrofílico (Mendelovici et al., 1995; Spaccini et al., 2001; Ellerbrock et al., 2005).

Cabe salientar que os alongamentos O-H das moléculas de água podem mascarar as bandas características de compostos orgânicos que seriam visíveis nos espectros de infravermelho. Portanto, o alto teor de água da amostra influencia as intensidades do sinal no DRIFT, como exemplo a faixa de 3800 a 2400 cm^{-1} (Gottwald e Wachter, 1997), onde o alongamento de O-H da água se sobrepõem às relativamente fracas bandas C-H. Desse modo, para minimizar esse efeito, as amostras devem ser secas e mantidas num dessecador com sílica, assim como o KBr utilizado como padrão de fundo interno.

Logo, observam-se diferentes tipos e quantidades de ácidos orgânicos que são depositados nos horizontes em consequência da vegetação, da decomposição do tecido vegetal e atividade microbiana (Nuzzo et al., 2020),

diferenciando a quantidade dos compostos presentes na matéria orgânica. Além disso, a partir da Tabela 1 abaixo pode-se observar, de acordo com a literatura pertinente, as principais bandas de absorção de IR e suas atribuições.

Tabela 1. Principais bandas de absorção de IR e atribuições (Piccolo e Mirabella, 1985; Stevenson, 1994; Guo e Bustin, 1997; Senesi et al., 2003; Tan, 2003; Leue et al., 2010; Egli et al., 2010; Voelkner et al., 2014; Nuzzo et al., 2020).

Bandas de absorção (cm⁻¹)	Atribuição
3.000 – 2.800	Região alifática
2.980 – 2.880	Alongamentos C-H alifático (grupos metil e metileno alifáticos)
1725 – 1710	C=O estiramento de COOH, aldeídos e cetonas
1660 – 1630	C=O alongamento, quimona C=O e/ou C=O de cetonas conjugadas ligadas a H
1620 – 1600	C=C aromático, C-O fortemente ligado a H de cetonas conjugadas
1535 – 1500	Anéis aromáticos, vibrações de amida II
1495 – 1470	Alongamento N-H de amidas proteicas
1440	Alongamento alifático C-H
1213 – 1333	Deformações OH e alongamento C-O de grupos fenólicos
1190 – 1127	C-OH alongamento alifático, alcoólico O-H
1116 – 1050	Álcoois secundários
1080 – 1030	Alongamento C-O do polissacarídeo
910 – 900	Deformações C-H aromáticos

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado em duas áreas de afloramento rochoso, denominadas *inselbergs*, situadas no Maciço do Itaoca, localmente conhecido como Morro do Itaoca ou Morro do Rato (21°48'S, 41°26'W) (Figura 1). O Morro do Itaoca apresenta uma área de 300 hectares e altitude mínima de 8 m e máxima de 420 m, situado no distrito de Ibitioca, município de Campos dos Goytacazes (RJ).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Aw, clima tropical quente e úmido, com inverno seco (abril a setembro) e verão úmido (outubro e março).

Em relação à geologia do Maciço do Itaoca, sua origem está associada aos eventos do ciclo Brasileiro (final do Pré-Cambriano), com rochas graníticas de coloração cinza clara, de granulação média, textura granular xenomórfica e em vários locais porfiroblástica, com porfiroblastos idiomórficos de feldspato potássico (Ferrari et al., 1981). No que diz respeito à geomorfologia do ambiente, segundo Dantas (2000), essa unidade é definida como Cristas Isoladas e Serras Baixas, onde o relevo se mostra constituído por vertentes retilíneas e topos de cristas alinhados, aguçados ou levemente arredondados, apresentando altitudes e gradientes elevados.

Em sua face noroeste ocorrem *inselbergs* que são, em parte, cobertos por ilhas de solo circundadas por rocha exposta, coincidentes com ilhas de vegetação

tipicamente rupícola. Seis dessas ilhas de vegetação foram os alvos específicos do presente estudo, sendo três delas em um afloramento rochoso mais ao norte, em cuja base estão duas torres de transmissão de energia em alta tensão, e outras três em um afloramento rochoso mais ao sul, próxima a uma área de extração de granito (Figura 2).

Os solos das ilhas de vegetação são pouco profundos, com o horizonte superficial assentado diretamente sobre a rocha, correspondendo à classe dos Neossolos Litólicos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), como também à dos “*Lithic Ustorthents*” da classificação estadunidense (Soil Survey Staff, 2014) e à dos “*Dystric Leptosols*” da base de referência mundial para classificação de solo da União Internacional de Ciências do Solo (IUSS Working Group WRB, 2022).

O entorno do Maciço do Itaoca é marcado por áreas alagadas cercadas por plantações de cana-de-açúcar, por pastagens e pelo extrativismo mineral, que geram desmatamento e afugentamento da fauna, como também a própria destruição física do afloramento rochoso (Pessanha et al., 2014; Couto et al., 2021). Além disso, esse ambiente também vem sofrendo com o ecoturismo, com despejo de lixo ao longo das trilhas, como garrafas pets e outros materiais descartáveis, além da predação de espécies vegetais consideradas de alto valor no mercado nacional e internacional, como espécies das famílias Orchidaceae, Bromeliaceae e Gesneriaceae (Soffiati, 1998; Alves et al., 2003; Soffiati, 2005; Pessanha et al., 2014; Couto et al., 2021), resultando na perda de biodiversidade e na degradação dos seus serviços ecossistêmicos (Porembski et al., 2016).

Portanto, destaca-se que, ao longo dos anos, esse ambiente vem sofrendo impactos devido às atividades antrópicas exercidas no local e no seu entorno. Em vista disso, as atividades humanas na região podem gerar a degradação do solo, a perda de flora e da fauna, entre outros.



Figura 1: Morro do Itaoca (Adaptada do Google Earth, 2022)



Figura 2: Pontos de coleta das amostras no Morro do Itaoca (Adaptada do Google Earth, 2023)

3.2 Caracterização da vegetação e amostragem dos solos

A identificação das espécies predominantes nas ilhas de vegetação estudadas foi feita em julho/2021, com auxílio de um botânico taxonomista

(Tabela 2). A coleta de material para a caracterização geral do solo foi realizada também em julho/2021 (1ª coleta). Amostras adicionais de solo foram coletadas em outubro/2022 e março/2023 (2ª coleta), sendo estas usadas especificamente para a realização de testes indicativos do grau de decomposição do material orgânico, conforme metodologia para a caracterização de Organossolos descrita em Teixeira et al. (2017).

As amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas ao Laboratório de Solos da UENF para preparo e realização de análises laboratoriais. As amostras da primeira coleta foram submetidas à secagem em temperatura ambiente e peneiramento em malha de 2 mm de abertura, para a remoção do material orgânico fibroso e das frações minerais grossas (calhaus e cascalho) e para a obtenção da terra-fina seca ao ar (TFSA).

Tabela 2. Famílias/espécies encontradas nas ilhas de vegetação estudadas do Morro do Itaoca, em Campos dos Goytacazes (RJ)

Família/Espécie	Porte	Hábito	Ilha 1	Ilha 2	Ilha 3	Ilha 4	Ilha 5	Ilha 6
<i>Vellozia plicata</i>	Erva	Rupícola		x	x	x	x	x
<i>Coleocephalocereus fluminensis</i>	Subarbusto	Rupícola	x	x	x	x	x	x
<i>Selaginella sellowii</i>	Erva	Rupícola		x	x			
<i>Pseudobombax aff. Petropolitana</i>	Arborescente	Terrícola/Rup.		x				
<i>Cyperus</i>	Erva	Terrícola/Rup.		x				
Asteraceae (<i>Clibadium armanii</i> , e sp. 1)	Arbusto	Terrícola/Rup.		x				
<i>Doryopteris</i>	Erva	Terrícola/Rup.		x				
<i>Erythroxylum sp</i>	Arv/Arb	Terrícola	x					
<i>Taberneumontana beta</i>	Arv/Arb	Terrícola	x					

3.3 Caracterização física e química das amostras de solo

As amostras da 1ª coleta foram utilizadas inicialmente para a caracterização física e química dos solos de acordo com as metodologias descritas em Teixeira et al. (2017) e eventuais adaptações resumidamente descritas abaixo.

3.3.1 Composição granulométrica

Antes da realização da análise granulométrica, as amostras foram submetidas a um pré-tratamento com solução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) para a eliminação da matéria orgânica, cujos teores eram elevados ($> 50 \text{ g kg}^{-1}$) em todas essas amostras de solo (Teixeira et al., 2017). Para isso, 50 g de TFSA foram colocadas em béqueres de 1 L, que foram deixados em uma capela de exaustão, e nos quais foram adicionadas sucessivamente porções de 10 a 30 mL de peróxido de hidrogênio 35% (água oxigenada a 130 volumes), duas vezes por dia, agitando-se com bastão de vidro e verificando-se a reação de efervescência. A operação foi repetida até o total desaparecimento de reação, sendo que posteriormente as amostras foram levadas para secar em estufa a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ e então destorroadas para a realização da análise granulométrica.

Para a análise foi feita a pesagem de 20 g da amostra pré-tratada, sendo o restante levado à estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 48 h para a determinação do fator de correção de umidade (fc). Os 20 g foram dispersos em 200 mL de uma solução de NaOH ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$), sendo as suspensões mantidas em uma mesa agitadora por 16 horas a 120 ciclos por segundo. A fração areia foi obtida passando a suspensão por uma peneira de malha $53 \mu\text{m}$, sendo o material retido pesado após secagem em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 48 h. A suspensão contendo argila e silte foi coletada em uma proveta de 1 L, sendo esse volume aferido adicionando-se água. A fração argila foi determinada pelo método da pipeta, coletando-se uma alíquota de 50 mL a 5 cm de profundidade após decorrido o tempo de sedimentação, tabelado em função da temperatura da suspensão (Teixeira et al., 2017). A fração silte foi obtida pela diferença entre a massa da amostra pré-tratada (corrigida em função do fc) e a soma das frações argila e areia.

3.3.2 Densidade de partículas (D_p)

Para a determinação da densidade de partículas (D_p) foi utilizado o método do balão volumétrico de 50 mL e álcool etílico hidratado 92 GL. O procedimento consistiu na pesagem de 20 g de TFSA e sua colocação no balão. O fator de correção de umidade (fc) foi obtido secando-se em estufa a $105 \text{ }^\circ\text{C}$, por 48 h, uma amostra de 10 g de TFSA. O volume da amostra foi determinado pela diferença entre o volume aferido do balão e o volume de líquido presente no balão contendo

a amostra. O cálculo foi realizado conforme a seguinte equação:

$$D_p = m_a / (V_B - V_L) \quad (1)$$

Em que:

D_p – densidade de partículas, em g cm^{-3} .

m_a – massa da amostra seca em estufa, obtida considerando o fc, em g.

V_B – volume total aferido do balão, em mL.

V_L – volume de líquido (álcool + água da TFSA) no balão com a amostra, em mL.

3.3.3 pH

O pH foi medido em água destilada, na proporção 1:2,5 (TFSA: água), com a utilização de eletrodo. Para isso, em um copo plástico de 100 mL foi adicionado 10 g de TFSA juntamente com 25 mL de água destilada. A amostra foi agitada com bastão de vidro individual por cerca de 60 s e deixada em repouso por 1 hora. Após o repouso, a amostra foi agitada novamente e a leitura do pH foi determinada com a introdução do eletrodo na suspensão homogeneizada.

3.3.4 Cálcio, magnésio, potássio e sódio trocáveis

Os teores das bases trocáveis (ou cátions “básicos” trocáveis) foram determinados após a extração em solução de acetato de amônio 1 M tamponada a pH 7,0, na proporção TFSA:solução de 1:10. Para isso, em um recipiente foi adicionado 1 g de TFSA juntamente com 10 mL de NH_4OAc 1 M, agitou-se em agitador de 200 oscilações por minuto por 15 minutos. Após a agitação, a amostra foi filtrada e os cátions monovalentes K e Na foram determinados em um fotômetro de chama, enquanto para os cátions bivalentes Ca e Mg as leituras foram realizadas em um espectrofotômetro de absorção atômica.

3.3.5 Acidez trocável (Al)

A acidez trocável (Al^{3+}) foi extraída por meio da solução de KCl 1 mol L^{-1} , utilizando -se a proporção de 10 g de TFSA para 50 mL de solução, sendo a determinação feita por titulometria em solução de NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$.

3.3.6 Acidez potencial (H + Al)

A acidez potencial ($H^+ + Al^{3+}$) foi extraída por meio de solução de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ tamponada a pH 7,0, na proporção TFSA:solução de 1:10, sendo que os teores foram obtidos por titulação com solução de NaOH $0,06 \text{ mol L}^{-1}$.

3.3.7 Capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_{efet}) e potencial (CTC_{pot})

O valor da capacidade de troca catiônica efetiva foi obtida somando-se os teores dos cátions trocáveis à acidez trocável ($CTC_{\text{efet}} = Ca+Mg+K+Na+Al$), enquanto a capacidade de troca catiônica potencial foi obtida somando-se os teores dos cátions trocáveis à acidez potencial ($CTC_{\text{pot}} = Ca+Mg+K+Na+H+Al$).

3.3.8 Carbono e nitrogênio orgânico (C e N)

Os teores de C e N foram determinados por meio da combustão (via seca) no analisador elementar, no qual amostras de 10 mg de TFSA foram maceradas em almofariz e passadas em peneira de malha de 0,2 mm. Em seguida, foram acondicionadas e seladas em cápsulas de estanho, sendo, em seguida, incineradas por 5 min em uma temperatura aproximada de $950 \text{ }^\circ\text{C}$ no forno do analisador elementar (CHNS).

3.4 Caracterização da afinidade água-solo e do grau de hidrofobicidade

Para a caracterização da afinidade água-solo e avaliação do grau de hidrofobicidade dos solos foram empregados os três métodos possivelmente mais utilizados na literatura pertinente, abordados resumidamente abaixo: (i) o teste do tempo de penetração da gota de água - TPGA (King, 1981); (ii) o teste da "molaridade de gotas de etanol" - MGE (King, 1981); e (iii) o método da "sortividade intrínseca" usando um mini-infiltrômetro de tensão (Tillman et al., 1989, Hallett e Young, 1999).

3.4.1 Tempo de penetração da gota de água (TPGA)

O método do TPGA consistiu em aplicar, usando uma pipeta de Pasteur, cinco gotas de água na superfície da amostra de solo contida em uma placa de Petri, cronometrando-se o tempo necessário para que essas gotas penetrassem completamente na amostra (Figura 3). A partir dessa técnica os solos foram classificados em duas grandes categorias, os “inicialmente molháveis” e os “inicialmente não-molháveis”, admitindo-se um TPGA de 10 s como limite crítico arbitrário entre esses (Roy e McGill, 2002). Desse modo, solos com TPGA > 10 s - ou seja, aqueles com ângulos de contato $\alpha > 90^\circ$ (Watson e Letey, 1969) - foram considerados efetivamente “hidrofóbicos” ou “hidrorrepelentes”, enquanto os solos com TPGA ≤ 10 s - ou seja, aqueles com $\alpha \leq 90^\circ$ - foram considerados “subcriticamente hidrofóbicos” ou “subcriticamente hidrorrepelentes” (Orfánus et al., 2014). Adicionalmente, as amostras foram classificadas quanto ao grau de hidrorrepelência como tendo hidrofobicidade muito baixa (TPGA ≤ 5 s), baixa ($5 \text{ s} < \text{TPGA} \leq 60$ s), moderada ($60 \text{ s} < \text{TPGA} \leq 600$ s), severa ($600 \text{ s} < \text{TPGA} \leq 3600$ s) ou muito severa (TPGA > 3600 s) (Dekker e Jungerius, 1990).



Figura 3: Método do tempo de penetração da gota de água (TPGA)

3.4.2 Método da molaridade da gota de etanol (MGE)

O método da MGE (Figura 4) foi empregado para avaliar o grau de

severidade de repelência à água dos solos efetivamente “hidrofóbicos” - aqueles com TPGA > 10 s e ângulo de contato $\alpha > 90^\circ$ (Watson e Letey, 1969). O teste da MGE é similar ao do TPGA, consistindo em aplicar na superfície das amostras de solo, ao invés de água, gotas de soluções aquosas de etanol com concentrações entre 0 a 5 mol L⁻¹, cronometrando-se o tempo necessário para o solo absorver completamente essas gotas (Figura 3) (Watson e Letey, 1971). A determinação foi iniciada com a solução mais concentrada (5 mol L⁻¹), decrescendo 1 mol L⁻¹ a cada teste subsequente (para 4, 3, 2 e 1 mol L⁻¹, respectivamente), suspendendo-se o procedimento ao se identificar a concentração em que a penetração da solução de etanol superasse o tempo crítico de 10 s. O procedimento era, então, retomado, agora usando soluções de etanol com concentrações intermediárias entre as usadas nos dois últimos testes, com incremento ou redução sequencial de 0,2 mol L⁻¹ a cada teste.

A relação entre a molaridade da solução de etanol e o tempo de penetração das gotas em cada amostra de solo foi expressa por equações tipo “potência”, ajustadas em planilha eletrônica do Microsoft Excel. Tais equações permitiram estimar o valor da concentração em que a penetração da gota se daria no tempo crítico de 10 s e, assim, fazer a classificação das amostras quanto ao grau de repelência à água, pelo qual se considera a hidrofobicidade baixa (≤ 1 M), moderada (1 - 2,2 M), severa (2,2 - 3,2 M) ou muito severa ($> 3,2$ M) (King, 1981; Harper e Gilkes, 1994).

Como a relação entre a concentração e a tensão superficial da solução de etanol é conhecida (Vázquez et al., 1995), além do nível de severidade da repelência à água dos solos, o método MGE também permitiu estimar o ângulo de contato água-solo. Com base nos valores de tensão superficial dessa solução de etanol (σ) e da água (σ_w) foram estimados, conforme Roy e McGill (2002), o cosseno do ângulo de contato “ $\cos \alpha$ ”:

$$\cos \alpha = \sqrt{\sigma/\sigma_w} - 1 \quad (2)$$

Logo, o próprio ângulo de contato (α , em °) pôde ser estimado por:

$$\alpha = \cos^{-1}(\sqrt{\sigma/\sigma_w} - 1) \quad (3)$$

Por fim, os valores de MGE foram utilizados também para a estimativa, com

base em Moody e Schlossberg (2010), do índice de hidrofobicidade R , por:

$$R = 10^{(0,705 + 0,5144 MGE)} \quad (4)$$



Figura 4: Método da molaridade da gota de etanol (MGE)

3.4.3 Sortividade intrínseca na infiltração inicial

O método da sortividade intrínseca foi empregado para avaliar o grau de afinidade água-solo nas amostras “subcriticamente hidrofóbicas” - aquelas com $TPGA \leq 10$ s e ângulo de contato $\alpha \leq 90^\circ$. A sortividade foi determinada em laboratório a partir de ensaios de infiltração feitos em 30 cm^3 de material dessas amostras, colocadas em um copo plástico de 50 mL, utilizando-se um microinfiltrômetro de tensão (Hallet e Young, 1999). O microinfiltrômetro é constituído de um tubo transparente semiflexível (mangueira de cristal), com 3 mm de diâmetro interno e parede de 1 mm de espessura, em que uma das extremidades fica mergulhada no líquido um reservatório e a outra ponta, preenchida com lã de vidro para se tornar uma pequena esponja, é colocada em contato com a amostra que se encontra no copo plástico (Figura 5). Nos testes de infiltração foram utilizados, como líquidos penetrantes, a água e o etanol, que possuem expressivas diferenças de densidade, viscosidade, tensão superficial e, principalmente, polaridade elétrica em suas moléculas. Enquanto o etanol

apresenta elevada afinidade com o solo, podendo o ângulo de contato ser assumido como $\alpha = 0$ (e $\cos\alpha = 1$), a elevada polaridade da água pode eventualmente levar a uma baixa afinidade com o solo, com o ângulo de contato com o solo $\alpha > 0$ (e $\cos\alpha < 1$).

Para que o líquido infiltrasse no solo sob tensão o contato esponja-amostra era ajustado para uma posição que ficasse a uma altura um pouco acima do nível do líquido no reservatório. O reservatório com o líquido (água ou etanol) era mantido sobre uma balança eletrônica para o monitoramento da massa de líquido que infiltrava no solo ao longo do tempo. Para isso, antes do início de cada ensaio, a balança tinha sua leitura “zerada”, assim como o tempo “zero” era estabelecido no momento em que o contato da esponja com a amostra dava início ao processo de infiltração. Como o contato esponja-amostra gerava um gradiente de potencial no líquido dentro do tubo, esse era absorvido na outra extremidade do tubo que se encontrava no reservatório, ocasionando a diminuição do nível e a redução do peso registrado pela balança.

A partir do contato da esponja com a amostra, a redução cumulativa do líquido do reservatório foi anotada a cada 15 segundos, começando no tempo zero e finalizando nos 120 segundos. A partir da diferença entre a leitura inicial e a final da balança eletrônica obteve-se a massa de líquido infiltrado em cada intervalo de tempo. Esse valor foi corrigido descontando-se a taxa de evaporação obtida a partir do monitoramento das leituras da balança com o reservatório de líquido quando o infiltrômetro não se encontrava em funcionamento.

Os ensaios foram realizados sob três tensões, destacando-se que quanto menor a tensão, maior a vazão. As tensões foram estabelecidas por meio de diferenças de altura entre a superfície do líquido e a superfície do contato esponja-amostra, sendo essas alturas 10, 20 e 30 mm. Para cada tensão, os ensaios foram feitos em triplicata, sendo utilizadas três amostras contidas em um recipiente de cada uma das 21 amostras de solo.

O valor de sortividade (S) foi calculado pela seguinte equação (Leeds-Harrison et al., 1994):

$$S = \sqrt{fQ/(4br)} \quad (4)$$

Em que S ($\text{mm}^3 \text{s}^{-1/2}$) é a sortividade, sendo $S = S_a$ para a água e $S = S_e$ para o etanol; f ($\text{mm}^3 \text{mm}^{-3}$) é a porosidade a ser preenchida com líquido na infiltração

(admitida como equivalente à porosidade total); Q ($\text{mm}^3 \text{s}^{-1}$) é a vazão quando a infiltração é constante; b (adimensional) é um parâmetro que depende da difusão do líquido no solo (admitido como 0,55 para um solo típico médio); e r (mm) é o raio da superfície circular de infiltração. Para o cálculo de S foi considerado o fornecimento de água e etanol ao solo sob uma tensão correspondente a 0,20 kPa (Hallett e Young, 1999).

A porosidade total (P_t) foi determinada a partir da relação entre a densidade do solo e a densidade das partículas, de acordo com Teixeira et al. (2017), conforme a equação abaixo:

$$P_t = 1 - D_s/D_p \quad (5)$$

Em que: P_t – porosidade total, em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$; D_p – densidade da partícula do solo, em kg dm^{-3} ; D_s – densidade do solo, em kg dm^{-3} . A densidade do solo (D_s) foi obtida utilizando-se um copo plástico de 50 cm^3 colocado sobre uma balança, ao qual o material das amostras foi adicionado até que fosse atingido o volume $V = 30 \text{ cm}^3$, registrando-se a massa de solo (TFSA) utilizada. A massa da amostra seca (M_a), ou de TFSE, foi calculada considerando-se f_c , o que permitiu que D_s fosse determinado utilizando-se a seguinte equação (Teixeira et al., 2017):

$$D_s = M_a/V \quad (6)$$

Em que: D_s – densidade do solo, em kg dm^{-3} ; M_a – massa da amostra de solo seco, em g; e V – volume da amostra, em cm^3 .

Os valores de S_a e S_e foram utilizados para o cálculo do índice de hidrofobicidade R , como segue (Tillman et al., 1989):

$$R = 1,95 S_e/S_a \quad (7)$$

Em que 1,95 resulta da consideração dos valores de viscosidade e tensão superficial da água e do etanol à temperatura de condução dos ensaios ($20 \text{ }^\circ\text{C}$), quais sejam, respectivamente, $\eta_a = 0,0010 \text{ N s m}^{-2}$, $\sigma_a = 0,073 \text{ N m}^{-1}$, $\eta_e = 0,0012 \text{ N s m}^{-2}$ e $\sigma_e = 0,023 \text{ N m}^{-1}$.

Com base no valor de R as amostras foram classificadas quanto ao grau subcrítico de hidrofobicidade (Iovino et al., 2018) em hidrofílica (ou não subcriticamente hidrorrepelente), para $R \leq 1,95$, ou tendo grau de hidrorrepelência

subcrítica leve, para $1,95 \leq R < 10$, forte, para $10 \leq R < 50$, severa, para $50 \leq R < 110$, ou extrema, para $R \geq 110$.

Por fim, o cosseno do ângulo de contato e esse próprio ângulo (α , em $^\circ$) foram estimados, respectivamente, pelas equações (Grizy et al., 2006):

$$\cos \alpha = 1/R \quad (8)$$

e

$$\alpha = \cos^{-1}(1/R) \quad (9)$$



Figura 5: Método da sortividade intrínseca na infiltração inicial

3.5 Caracterização do grau de decomposição do material orgânico do solo

A caracterização do grau de decomposição do material orgânico do solo foi feita utilizando-se as amostras da 2ª coleta, obtidas em outubro/2022 e março/2023, com as amostras mantidas tal como coletadas no campo, incluindo as fibras de origem vegetal. Para a caracterização foram empregados métodos utilizados na literatura pedológica (Lynn et al., 1974; Valladares, 2003; Teixeira et al., 2017; Santos et al., 2018), abordados resumidamente abaixo: (i) escala de von Post; (ii) índice do pirofosfato de sódio; e (iii) teor de fibras total e esfregadas. As amostras foram classificadas como tendo grau de decomposição do material orgânico fíbrico, hêmico ou sáprico considerando as faixas de valores que

constam na Tabela 3, abaixo.

Tabela 3: Critérios para a identificação do grau de decomposição do material de amostras de solo orgânico.

Fator avaliado	Fábriico	Hêmico	Sápriico
% Fibras esfregadas	≥ 40%	17% - 40%	< 17%
Humosidade (Escala de von Post)	H1 até H4	H5 e H6	H7 até H10
Índice do pirofosfato*	≥ 5	4	≤ 3

* Os padrões de cor (matiz 10YR) do papel cromatográfico obtidos na matiz 10YR da Carta de Munsell associados às três faixas do índice do pirofosfato (IP) são: IP ≥ 5: valor/croma 7/1, 7/2, 8/1, 8/2 e 8/3 (a despeito do valor do IP, exclui-se a combinação 6/1, que é hêmico); IP = 4: valor/croma 5/1, 6/2, 7/3 e 8/4 (incluem-se, a despeito do valor do IP, a combinações 6/1, 8/6 e 8/8); e IP ≤ 3: demais combinações valor/croma com valor ≤ 7 (as exceções são as combinações 5/1, 6/1, 6/2, 7/1, 7/2, 7/3, acima mencionadas como fibríicas ou hêmíicas).

3.5.1 Escala de Von Post

O grau de decomposição do material orgânico foi determinado em laboratório considerando a escala de Von Post, conforme descrito em Teixeira et al. (2017). Para isso uma porção da amostra de solo foi separada na palma da mão e, aos poucos, foi sendo adicionada água para amassar e homogeneizar o material (Figura 6). O comportamento do material durante o manuseio foi registrado com informações qualitativas que permitiram avaliar o grau de humosidade das amostras de H1 a H10, conforme descrições constantes na Tabela 3, e, então, classificar o seu grau de decomposição (Tabela 4).



Figura 6: Método da escala de Von Post

Tabela 4: Classificação do material orgânica em função do grau de decomposição pela Escala de Von Post (Extraído de Valladares, 2003)

Graus de humosidade	Características	Cor da água que flui entre os dedos	Fração da turfa que flui entre os dedos	Permanece na mão		Classe
				Forma	Estrutura vegetal	
H1	Sem decomposição	Incolor	Não passam sólidos entre os dedos	Não tem aspecto gelatinoso	Estrutura vegetal nitidamente reconhecível	FÍBRICO
H2	Muito pouco decomposto	Ligeiramente castanha				
H3	Muito francamente decomposta	Muito castanha				
H4	Francamente decomposta	Líquido escuro	Passa pouco	Apresenta aspecto gelatinoso	Ainda pouco reconhecíveis os vegetais	HÉMICO
H5	Decomposta					
H6	Bem decomposta					
H7	Fortemente decomposta					
H8	Muito fortemente decomposta	Passam 3/5 do volume	Passam a metade	Ficam na mão resíduos de fibras, raízes, etc.	Muito pouco reconhecíveis os vegetais	SÁPRICO
H9	Quase totalmente decomposta					
H10	Completamente decomposta	O material flui integralmente entre os dedos		Sobra muito pouco na mão		

3.5.2 Índice do pirofosfato (IP)

A obtenção do índice do pirofosfato de sódio (IP) foi feito a partir da utilização do método colorimétrico (Lynn et al., 1974), que consistiu em separar uma porção da amostra de solo com volume de 2,5 cm³, medida em uma seringa plástica com a frente cortada. O material da amostra foi adicionado a um copo plástico de 50 mL juntamente com 1 g de pirofosfato de sódio e 4 mL de água destilada, sendo estes homogeneizados com o auxílio de um bastão de vidro e deixados em repouso por uma noite. Após esse tempo, foi feita a inserção de uma tira de papel cromatográfico por 30 s, para absorção da solução. Após a retirada do papel cromatográfico, o mesmo ficou em repouso por 10 min (Figura 7) e então foi realizada a leitura de sua cor usando a carta de cores de Munsell na página de matiz 10YR, para a obtenção do valor e croma (Figura 8).

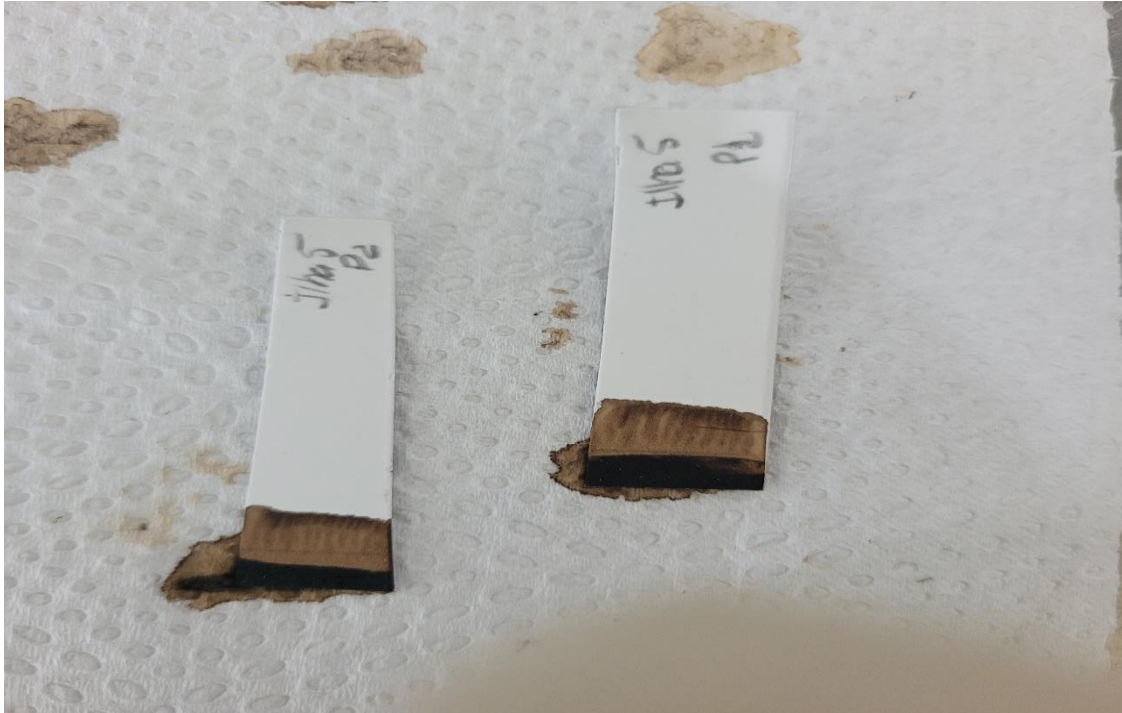


Figura 7: Repouso do material por 10 min para realização da leitura

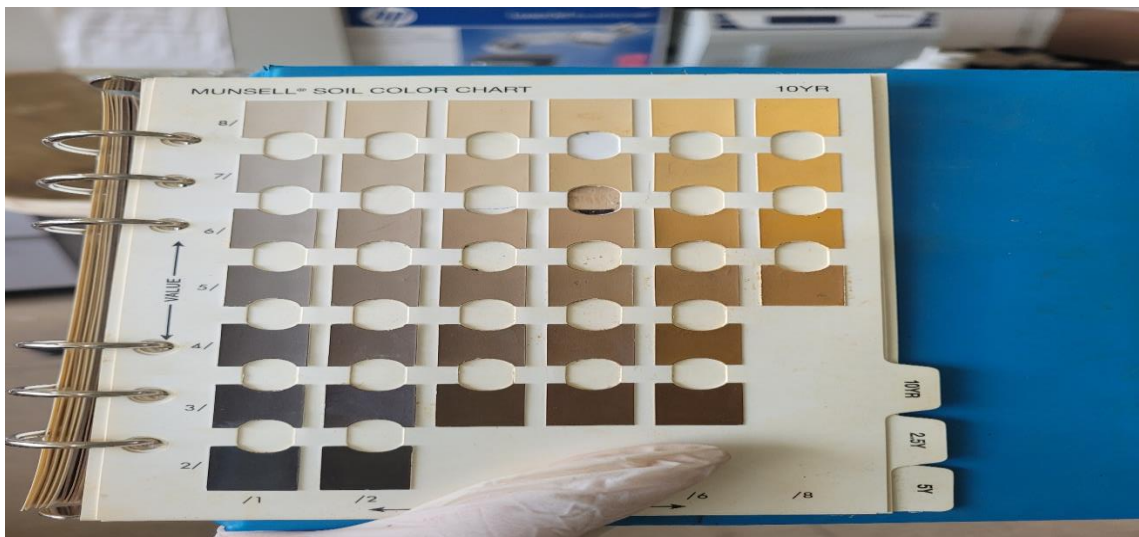


Figura 8: Leitura do valor e croma na matiz 10YR

O índice de pirofosfato foi calculado subtraindo-se o croma do valor e a classificação do grau de decomposição do material orgânico em fábriico, hêmico ou sáprico foi feita de acordo com a Tabela 2.

3.5.3 Determinação de fibras

Os teores de fibras não esfregadas (fibras totais) e de fibras esfregadas (não decompostas) foram determinados de acordo com Santos et al. (2018), por

meio da adaptação do método da lavagem em água corrente sobre peneira de 100 mesh (0,15 mm de abertura de malha).

Primeiramente, cerca de 20 cm³ de cada amostra de solo da 2ª coleta, obtidas em outubro/2022 e março/2023, foram transferidos para recipientes nos quais água foi adicionada até que a amostra aparentasse estar totalmente molhada, deixando-a em repouso por 48 horas. Em seguida, uma porção de 2,5 cm³ (volume total, V_t) do material foi empacotada em uma seringa de 5 mL com a frente cortada e então transferida para uma peneira de 100 mesh, lavando-a em água corrente para a remoção de material fino, até todo o líquido parecer claro. Posteriormente, o resíduo retido na peneira, ainda úmido, foi reempacotado na seringa e o novo volume do material (V_1) foi lido na escala da seringa (Figura 9). Enquanto V_1 corresponde ao volume de fibras totais, ou não esfregadas, e de partículas minerais grossas, de diâmetro maior que 150 μm , a diferença $V_t - V_1$ representa o volume de partículas finas de natureza mineral e orgânica removidas no processo de lavagem.

O material lavado contido na seringa foi transferido novamente para a peneira de 100 mesh e a amostra foi esfregada entre o polegar e o indicador, lavando-a na peneira sob água corrente até que o efluente se tornasse claro. O material retido na peneira foi novamente reempacotado na seringa e o novo volume (V_2) lido era, então, correspondente ao volume de fibras esfregadas e de partículas minerais grossas. Desse modo, a diferença entre V_1 e V_2 pode ser utilizada como indicador do volume de fibras que estão em estágio avançado de decomposição.

Por fim, o material contido na seringa após a 2ª lavagem foi colocado em um béquer com água, permitindo separar as partículas minerais grossas (grãos de quartzo), que sedimentavam no fundo do béquer, das fibras vegetais, que ficavam em suspensão. Essas fibras esfregadas foram então recolhidas na peneira de 100 mesh e o seu volume (V_3) foi medido após o reempacotamento na seringa. O volume de partículas minerais grossas, calculado pela diferença entre V_2 e V_3 , foi subtraído de V_1 , permitindo a obtenção do volume de fibras totais.

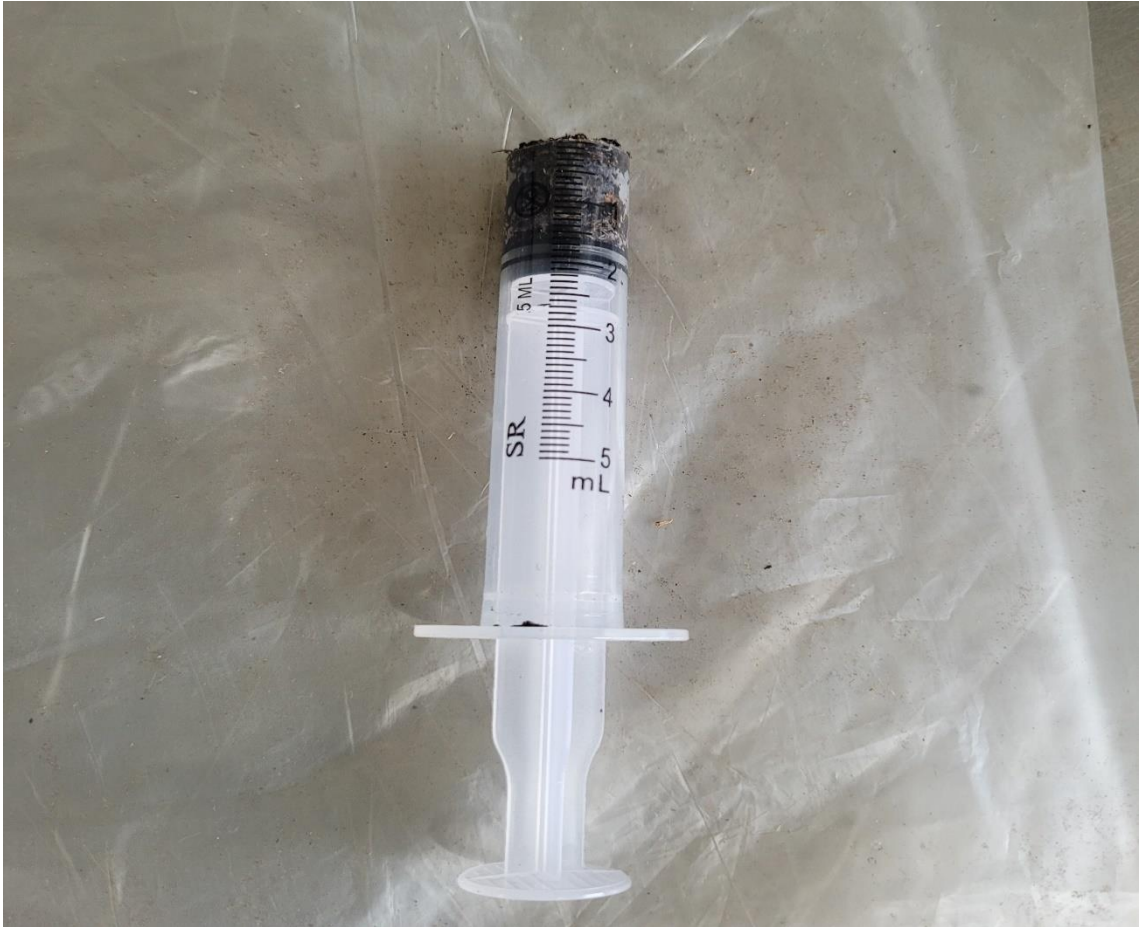


Figura 9: Seringa contendo amostra de solo para a determinação de fibras

3.6 Espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (DRIFT)

Para a análise de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) uma porção das amostras da 1ª coleta, previamente secas ao ar e peneiradas (TFSA), foi moída em gral de porcelana, acondicionada em tubo eppendorf de 1 mL e deixada em estufa a 40 °C por 72 h, antes de serem levadas ao analisador.

Os espectros foram registrados por meio do espectrômetro Shimadzu IRAffinity⁻¹ com o acessório DRS-8000A, mediante a técnica da espectroscopia por refletância difusa no infravermelho com transformada de Fourier (DRIFT), em um faixa espectral de 4000 a 400 cm^{-1} , com resolução de 4 cm^{-1} e 40 varreduras. Os espectros foram processados com IRsolution FTIR versão 1.4 (Shimadzu Inc., Kyoto, JP) e o KBr foi utilizado como padrão de fundo interno.

Destaca-se que os pontos dos dados coletados foram exportados para o Excel (Microsoft Office Excel 2019) e, em virtude dos resultados de afinidade água-solo e grau de hidrofobicidade (item 1.4), foram usados para construir os

espectros DRIFT de absorvância em faixas de frequência específicas que pudessem ser associadas ao comportamento hidrofóbico das amostras, quais sejam: de 900 a 930 cm^{-1} (banda 1), que incluem deformações C-H aromáticos; de 1350 a 1500 cm^{-1} (banda 2), que incluem deformações dos grupos CH_2 e CH_3 ; e de 2800 a 3000 cm^{-1} (banda 3), referente às ligações alifáticas que incluem os estiramentos C-H dos grupos metil e metileno (2860 a 2.920 cm^{-1}).

As bandas espectrais acima, atribuídas a compostos orgânicos hidrofóbicos, foram definidas de acordo com o banco de dados proposto na literatura (Piccolo e Mirabella, 1985; Stevenson, 1994; Capriel et al., 1995; Guo e Bustin, 1997; Senesi et al., 2003; Tan, 2003; Leue et al., 2010; Egli et al., 2010; Voelkner et al., 2014; Nuzzo et al., 2020). Para que os resultados de DRIFT pudessem ser confrontados com outros atributos do solo, a área sob os picos de absorvância das referidas bandas espectrais foi integralizada numericamente em relação à linha basal, como ilustrado na Figura 10. A integral de absorvância (I_{abs} , em u.a.), correspondente à área hachurada, foi obtida a partir da média das absorvâncias no referido pico (μ_{abs} , em u.a.), descontada a média das absorvâncias na linha basal (μ_{absBasal} , em u.a.), multiplicada pela amplitude da faixa de frequência (A_{freq} , em cm^{-1}).

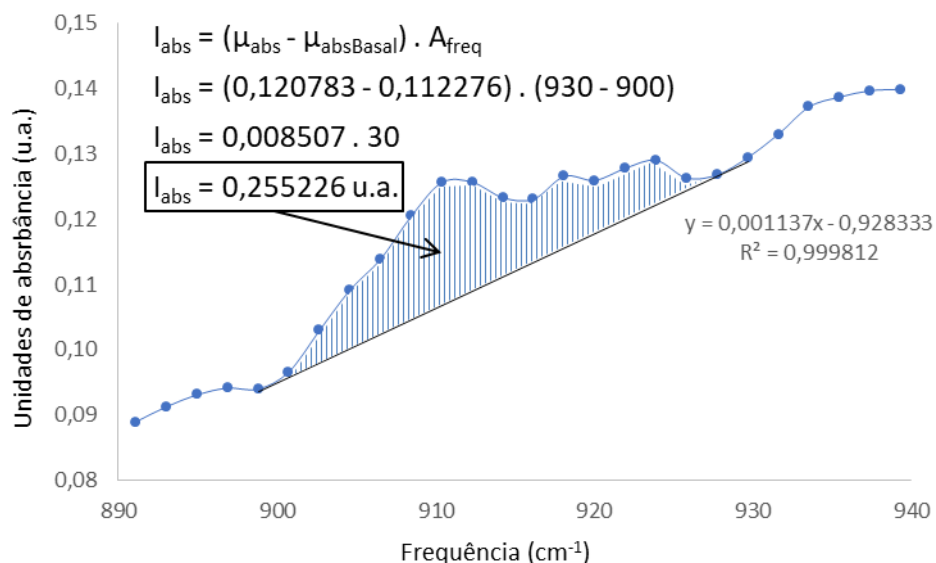


Figura 10: Exemplo de integração numérica da absorvância (I_{abs}) em um pico extraído que espectro DRIFT de uma amostra de solo de uma ilha de vegetação rupícola do Morro do Itaoca, Campos dos Goytacazes, RJ. Obs.: A Integral corresponde à área hachurada na frequência entre 900 a 930 cm^{-1} , que inclui deformações C-H aromáticos.

3.7 Análise estatística

Os resultados foram analisados utilizando-se o programa estatístico “PAST”, versão 4.02 (Hammer et al., 2001). A análise exploratória incluiu medidas estatísticas de tendência central (média e mediana) e de distribuição (valores mínimo e máximo, limites entre os dois quartis superiores e os dois inferiores, desvio-padrão, e coeficientes de variação, de assimetria e de curtose) referentes ao conjunto das 21 amostras de solo estudadas. A análise de correlação linear de Pearson foi feita considerando três grupos de variáveis (grupo 1: atributos físicos do solo e grau de decomposição do material orgânico; grupo 2: atributos químicos do solo; e grupo 3: atributos indicadores da afinidade solo-água e composição da matéria orgânica do solo), obtendo-se as correlações entre as variáveis dentro de cada grupo e também entre as variáveis desses grupos. Foi feita a análise de componentes principais (ACP), buscando-se avaliar a dispersão das seis ilhas de vegetação estudadas a partir das contribuições dos atributos do solo que compuseram os três grupos de variáveis acima, e, por fim, foi feita a análise de agrupamentos por meio da distância euclidiana média, para avaliar a similaridade ou dissimilaridade das referidas ilhas de vegetação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Atributos físicos do solo e grau de decomposição do material orgânico

Na Tabela 5 está apresentado o resumo estatístico dos atributos relacionados à constituição física da matriz do solo e ao grau de decomposição do material orgânico, determinados nas 21 amostras do solo coletadas das ilhas de vegetação rupícola estudadas, enquanto que na Tabela 6 constam os coeficientes de correlação linear de Pearson entre essas mesmas variáveis e as respectivas significâncias pelo teste t de Student.

Tabela 5. Medidas estatísticas para as variáveis areia (%), silte (%), argila (%), densidade de partículas (D_p , $g\ cm^{-3}$), fibras totais (FT, %), fibras esgregadas (FE, %), escala de decomposição de Von Post (VP) e índice do pirofosfato de sódio (IP), determinadas nas 21 amostras de solo das ilhas de vegetação rupícola do Morro do Itaoca, Campos dos Goytacazes (RJ)

Medidas estatísticas	D_p	Areia	Silte	Argila	FT	FE	VP	IP
Média	2,28	71,5	16,1	12,4	33,9	18,6	7,6	1,9
Mediana	2,37	76,7	14,8	9,5	33,2	18,3	7,0	2,0
Valor mínimo	1,56	46,7	8,6	4,8	3,1	0,5	6,0	0,0
Valor máximo	2,63	84,2	29,2	24,1	72,1	50,9	9,0	3,0
Quartil inferior	2,14	59,9	11,1	8,1	18,6	7,5	7,0	2,0
Quartil superior	2,47	80,3	22,1	16,6	42,7	21,5	8,0	2,0
Desvio padrão	0,29	11,8	6,3	6,0	17,4	13,0	0,9	0,6
Coef. de variação (%)	12,9	16,6	38,8	48,2	51,3	70,2	12,2	33,6
Coef. de assimetria	-1,24	-0,95	0,84	0,92	0,56	1,13	-0,04	-0,08

Coef. de curtose 1,06 -0,59 -0,55 -0,42 0,18 1,06 -0,50 0,49

Tabela 6. Coeficientes de correlação linear de Pearson (abaixo da diagonal) e as respectivas significâncias pelo teste t de Student (acima da diagonal) entre as variáveis densidade de partículas (D_p), teores de areia, silte, argila, fibras totais (FT) e fibras esgregadas (FE), escala de decomposição de Von Post (VP) e o índice do pirofosfato (IP), determinadas nas 21 amostras de solo das ilhas de vegetação estudadas do Morro do Itaoca, em Campos dos Goytacazes (RJ)

	D_p	Areia	Silte	Argila	FT	FE	VP	IP
D_p		$2,1 \cdot 10^{-7}$	$1,3 \cdot 10^{-7}$	$8,7 \cdot 10^{-6}$	$6,1 \cdot 10^{-6}$	$7,9 \cdot 10^{-9}$	0,073	0,288
Areia	0,875**		$7,0 \cdot 10^{-13}$	$1,6 \cdot 10^{-12}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	0,072	0,166
Silte	-0,882**	-0,968**		$3,2 \cdot 10^{-7}$	$7,8 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	0,133	0,232
Argila	-0,810**	-0,965**	0,869**		$2,0 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	0,047	0,138
FT	-0,817**	-0,611**	0,675**	0,505**		$7,3 \cdot 10^{-14}$	0,356	0,841
FE	-0,913**	-0,730**	0,782**	0,626**	0,975**		0,312	0,727
VP	0,399 ^{ns}	0,401 ^{ns}	-0,339 ^{ns}	-0,437*	-0,212 ^{ns}	-0,232 ^{ns}		0,138
IP	0,243 ^{ns}	0,314 ^{ns}	-0,273 ^{ns}	-0,335 ^{ns}	0,047 ^{ns}	-0,081 ^{ns}	0,335 ^{ns}	

Obs.: Coeficientes de correlação linear de Pearson seguidos de "ns" são não significativos e os seguidos de "*" e "***" são significativos, respectivamente, a $p < 5\%$ e $p < 1\%$ de probabilidade pelo teste t de Student.

Os valores da densidade de partículas (D_p) variaram de $1,53$ a $2,63 \text{ g cm}^{-3}$ (Tabela 5). Na maior parte dos solos minerais a D_p varia de $2,6$ a $2,7 \text{ g cm}^{-3}$ (Ferreira, 2010), geralmente refletindo a abundância de minerais da família dos silicatos com densidade nessa faixa de valor, dentre eles o quartzo na fração areia e a caulinita na fração argila. Por outro lado, enquanto solos ricos em óxidos de ferro apresentam valores de D_p acima da faixa usual, solos com teores elevados de matéria orgânica (MO), como os estudados aqui, usualmente apresentam valores inferiores aos citados acima, visto que a MO tipicamente exhibe D_p em torno de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$. Portanto, os valores baixos de D_p nas amostras estudadas ocorrem pelo fato de o material orgânico apresentar baixa densidade, ou seja, densidade menor do que os sólidos minerais encontrados no solo (Alho, 2007; Ferreira, 2010).

Quanto às frações granulométricas, os teores de areia variaram de $46,7\%$ a $84,2\%$, os teores de silte de $8,6\%$ a $29,2\%$ e os de argila de $4,8\%$ a $24,1\%$. De acordo com a classificação descrita em Santos et al. (2005), oito amostras são da classe textural areia franca, nove da classe francoarenosa, uma da classe franca e três da franco-argiloarenosa. Esses valores e classes texturais são condizentes com o ambiente estudado, visto que os solos dessas ilhas de vegetação rupícola são rasos, estão em contato direto com a rocha pouco alterada e inseridos em uma encosta com declividade elevada, o que favorece a remoção das partículas

na medida em que estas vão sendo destacadas da rocha pelo intemperismo físico e tendo seu tamanho reduzido pelo intemperismo físico e químico. Benites et al. (2007), analisando 63 amostras de horizontes superficiais de solos associados a afloramentos rochosos quartzíticos e graníticos de nove unidades de conservação das Serras do Espinhaço e da Mantiqueira, também verificaram que a maioria apresentava textura arenosa grossa, com teores médios de areia variando de 65% a 89%, teores de silte entre 5% e 17% e de argila de 6% a 18%.

Os teores de fibras totais (FT) e esfregadas (FE) apresentaram-se entre 3,1% a 72,1% e entre 0,5% a 59,9%, respectivamente, sendo, com base no teor de FE (Santos et al., 2018), três amostras classificadas como fíbricas ($FE \geq 40\%$), oito como hêmicas ($17\% \leq FE < 40\%$) e dez como sápricas ($FE < 17\%$). A avaliação das amostras a partir dos outros dois índices estudados indicou um grau de decomposição do material orgânico ainda mais avançado. Pela escala de Von Post (VP) 18 amostras foram classificadas como sápricas (VP de 7 a 10) e três como hêmicas (VP 5 ou 6) e nenhuma como fíbrica (VP de 1 a 4), enquanto pelo índice de pirofosfato de sódio (IP) todas as 21 amostras foram classificadas como sápricas ($IP \leq 3$). É fato que na zona tropical úmida a transformação e a mineralização e/ou humificação da matéria orgânica é favorecida (Bayer e Mielniczuk, 2008; Anjos et al., 2008), diminuindo, assim, o quantitativo de fibras esfregadas e levando ao predomínio de materiais hêmicos e, principalmente, sápricos. A variação nos teores de fibras esfregadas pode ser reflexo de fatores como clima, gradiente de altitude e de variações na vegetação que deu origem ao material orgânico. O clima influencia a velocidade de decomposição do material orgânico, podendo-se citar, como exemplos, que afloramentos rochosos sob climas mesotérmicos costumam apresentar decomposição mais lenta dos resíduos vegetais (Benites et al., 2007), enquanto outros sob ambientes tropicais tendem a ter a decomposição do material mais rápida, visto que esse ambiente favorece a transformação (mineralização e/ou humificação) da matéria orgânica do solo e levam à diminuição dos teores de fibras e ao predomínio de materiais hêmicos e sápricos (Ebeling et al., 2013). A geomorfologia do ambiente também altera as características do solo, como profundidade e drenagem (Messias et al., 2011), enquanto a cobertura vegetal rupícola desses solos tende a produzir um material orgânico recalcitrante, preservando alto teor de fibras, apresentando baixa densidade aparente, devido ao acúmulo de matéria orgânica leve derivada

de resíduos vegetais não decompostos (Benites et al., 2007).

Nas ilhas de vegetação rupícola estudadas as condições ambientais incluem pequena espessura do solo (entre 8 a 15 cm, predominantemente), elevada declividade do terreno, com amplitudes de relevo e gradientes superiores a 45° e paredões rochosos subverticais entre 60° a 90° (Dantas, 2000), e picos de temperatura na superfície do maciço rochoso bem elevados. Tais condições não são as mais propícias para uma decomposição avançada das fibras vegetais, pois não favorecem a permanência de água no solo. Além disso, a elevada declividade do terreno potencialmente favorece a remoção pela água ou vento dos materiais orgânicos na medida em que estes se decompõem. Sob tais condições seria esperado que as fibras vegetais das amostras dos solos das ilhas de vegetação rupícola não atingissem um grau de decomposição tão avançado (sáprico), mas que houvesse uma quantidade maior de amostras com graus hêmicos e mesmo fíbricos. Assim, a elevada ocorrência de materiais mais decompostos no ambiente pode ser resultado da contribuição externa de matéria orgânica proveniente de áreas adjacentes mais planas na parte alta das encostas, onde ocorrem solos mais profundos como Cambissolos e Argissolos. Desse modo, o predomínio de material orgânico sáprico nos solos das ilhas de vegetação rupícola pode se dever à sua chegada pelos canais de drenagem locais, que consistem em vias de escoamento que ocorrem na superfície da rocha que, em seu caminho, interceptam as referidas ilhas de vegetação.

Em relação às correlações (Tabela 6), verifica-se que as frações granulométricas se correlacionaram entre si, sendo a areia negativamente tanto com o silte como com a argila, e silte e argila positivamente entre si. Destaca-se que, pelos teores dessas frações serem complementares, tais correlações são típicas e esperadas, pois o surgimento de partículas finas, das classes silte e argila, obrigatoriamente se dá a partir do intemperismo de partículas de maior tamanho que, previamente, compunham a fração areia dos solos (Essington, 2005; Sposito, 2008; Melo et al., 2009, Fontes, 2012)

Em relação à densidade de partículas (D_p), esta variável se correlacionou positivamente com a fração areia e negativamente com as frações argila e silte e também com teor de total de fibras (FT) e de fibras esfregadas (FE). Considerando que teores elevados de fibras vegetais no solo indicam teores também elevados de matéria orgânica (MO), e considerando que a D_p da MO é

tipicamente baixa, em torno de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ (Ferreira, 2010), ficam justificadas as correlações negativas entre a D_p e as variáveis FT e FE. Por outro lado, teores mais elevados de frações minerais finas (silte e, principalmente, argila) contribuem para a preservação de MO e favorecem que seu teor seja mais elevado, enquanto teores mais elevados de areia favorecem a degradação e a remoção da MO do solo. Verificam-se, nesse sentido, correlações positivas das frações silte e argila e negativa da fração areia com FT e FE. Desse modo, as correlações entre D_p e as frações granulométricas acima mencionadas talvez se justifiquem mais pelo teor de MO do que, propriamente, pelos teores das frações granulométricas. Ademais, essas diferentes frações granulométricas tipicamente apresentam valores de D_p de mesma magnitude, ou a fração argila apresenta, quando rica em óxidos de ferro, valores de D_p até mesmo maior que a fração areia (Ferreira, 2010).

Em relação às variáveis VP (escala de Von Post) e IP (índice de pirofosfato), ambas consideradas indicadoras do grau de decomposição do material orgânico, não houve correlação significativa entre elas, indicando que avaliam aspectos qualitativos distintos do material orgânico. Também não houve correlação de VP e IP com o teor de fibras esfregadas (FE), esta última também usada para a classificação do grau de decomposição do material orgânico, porém em bases quantitativas. Ademais, os índices VP e IP não se correlacionaram com as variáveis físicas D_p , teor de fibra total (FT) e teores das frações granulométricas (exceto pela correlação entre argila e VP), indicando que esses índices devem ser determinados mais por aspectos químicos.

Na Tabela 7 constam os valores médios de cada um desses atributos em cada uma das seis ilhas de vegetação estudadas. Em relação aos valores de D_p , a maior média ocorreu no solo da ilha de vegetação 1 e o menor foi verificado no da ilha 5. Destaca-se que os menores valores de D_p estão associados aos menores teores de areia e aos maiores teores de argila e silte e também à maior presença de material orgânico (fibras totais e esfregadas), de modo que podem ser reafirmadas aqui todas as justificativas anteriormente mencionadas acerca das relações entre essas diversas variáveis. Por fim, considerando os valores médios constantes na Tabela 7, os solos das seis ilhas de vegetação são da classe textural francoarenosa e apresentam material orgânico sáprico pelos indicadores VP e IP (pelo teor de fibras esfregadas, nas ilhas 1 e 3 o material seria hêmico).

Tabela 7. Valores médios da densidade de partículas (D_p), dos teores de areia, silte, argila, fibras totais (FT) e fibras segregadas (FE), da escala de decomposição de Von Post (VP) e do índice do pirofosfato de sódio (IP), referentes aos solos das seis ilhas de vegetação estudadas do Morro do Itaoca, em Campos dos Goytacazes (RJ)

Ilhas de vegetação	D_p g cm ⁻³	Areia	Silte	Argila	FT	FE	VP	IP
Ilha 1	2,59	79,6	10,2	10,2	12,9	4,9	9,0	2,0
Ilha 2	2,31	71,4	16,0	12,5	36,9	18,2	9,0	2,3
Ilha 3	2,39	77,9	13,1	9,0	31,1	14,7	9,0	3,3
Ilha 4	2,12	58,2	23,0	18,8	33,8	19,6	7,7	2,3
Ilha 5	2,08	67,1	19,9	13,0	40,0	26,2	9,0	2,0
Ilha 6	2,11	70,1	16,6	13,2	49,7	29,7	7,0	2,3

Destaca-se que os maiores valores de areia encontram-se na região da transecção 1, no qual se encontram as ilhas 1, 2 e 3, concentrando mais 70% da fração areia, já os menores valores encontrados foram na transecção 2 (ilhas 4, 5 e 6). Ao mesmo tempo, observa-se que na transecção 2 ocorrem maiores valores de silte e argila comparados às ilhas da transecção 1. Dessa maneira, existe uma diferença de altitude entre a transecção 1 e 2, no qual as ilhas da transecção 1 se encontram numa altitude baixa para intermediária, enquanto que as ilhas da transecção 2 iniciam-se numa altitude intermediária para alta.

4.2 Atributos químicos do solo

Na Tabela 8 consta o resumo estatístico dos atributos químicos das 21 amostras de solo coletadas nas ilhas de vegetação rupícola, dos *inselbergs* do Maciço do Itaoca.

Tabela 8. Medidas estatísticas para para as variáveis pH, acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al³⁺), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de cálcio e magnésio (Ca + Mg), potássio (K), sódio (Na), soma de potássio e sódio (K + Na), capacidade de troca de cátions efetiva (CTC_{efet}) e potencial (CTC_{pot}), carbono (C), nitrogênio (N) e relação entre carbono e nitrogênio (C/N).

Medidas estatísticas	pH	H+Al	Al	Ca	Mg	K	Na	K+Na	Ca+Mg	CTC _{efet}	CTC _{pot}	C	N	C/N
	-			----- cmol _c kg ⁻¹ -----								%	g kg ⁻¹	-
Média	4,42	16,7	2,17	0,83	0,30	0,95	1,21	2,17	1,13	5,46	20,0	18,7	1,33	13,8
Mediana	4,58	16,3	2	0,75	0,23	1,01	1,21	2,08	0,98	5,5	19,5	17,9	1,12	14,2
Valor mínimo	3,72	12,2	1,4	0,32	0,13	0,49	0,27	0,76	0,46	4,2	15,8	8,76	0,81	10,1
Valor máximo	4,82	23,4	3,3	1,8	0,88	1,55	2,17	3,67	2,41	6,8	26,4	36,4	2,18	16,7
Quartil inferior	4,15	15,1	1,65	0,4	0,16	0,74	0,92	1,74	0,56	5,0	18,8	12,2	1,0	12,4
Quartil superior	4,66	17,9	2,75	1,25	0,37	1,08	1,44	2,51	1,57	5,95	20,9	24,4	1,67	15,5
Desvio padrão	0,34	2,87	0,60	0,48	0,20	0,28	0,49	0,70	0,63	0,71	2,74	7,49	0,43	2,17
Coef. de variação (%)	7,60	17,2	27,6	57,9	68,2	29,5	40,1	32,1	55,7	13,1	13,7	40,1	32,0	15,7
Coef. de assimetria	-0,72	0,79	0,37	0,83	1,96	0,38	0,23	0,62	0,89	0,14	0,66	0,77	0,75	-0,50
Coef. de curtose	-0,70	0,35	-1,18	-0,61	3,51	-0,02	0,17	0,91	-0,44	-0,37	0,31	0,31	-0,73	-0,83

Os valores de acidez potencial variaram de 23,4 a 12,2 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, que podem ser considerados elevados, enquanto os de acidez trocável variaram de 1,4 a 3,3 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$, identificando-a como moderadamente alta. Esses valores elevados se justificam pelos solos apresentarem-se de extremamente ácidos ($\text{pH} < 4,3$) a fortemente ácidos (pH de 4,3-5,3) e terem elevada capacidade de troca de cátions, ambos esses aspectos associados aos altos teores de matéria orgânica. Desse modo, os valores encontrados nos solos das ilhas de vegetação rupícola coincidem com os valores descritos por Benites et al. (2007), apresentando elevados teores de alumínio trocável, baixa qualidade nutricional e níveis variáveis de matéria orgânica, destacando que geralmente devido ao acúmulo de matéria orgânica originada de resíduos vegetais não decompostos esses solos apresentam teores consideráveis de matéria orgânica, como também observa Prezotti et al. (2013), o qual afirma que geralmente maiores valores de H+Al em solos ricos em matéria orgânica, principalmente se estes apresentarem baixos valores de pH.

O caráter fortemente ácido nas amostras de solo é identificado pelo valor do pH que variou entre 3,72 e 4,82, o que provavelmente se associa aos altos teores de matéria orgânica, visto que os solos rasos provenientes dessas ilhas de vegetação são originados a partir da acumulação da matéria orgânica e da influência do intemperismo ao longo dos anos. Em vista disso, em solos com altos teores de matéria orgânica, sobretudo nos horizontes superficiais, geralmente constata-se elevada acidez, com valores de pH de 3,5 a 4,5 (Ebeling et al., 2008).

Além do mais, os estudos de Thomas (1994) e Bremer e Sander (2000) demonstraram que os solos associados a afloramentos rochosos possuem ampla variação no conteúdo de húmus, também corroborando os valores encontrados por Benites et al. (2007) e que apontam que esses solos, em geral, apresentam níveis variáveis de matéria orgânica e altos níveis de alumínio trocável.

A redução do pH do solo gera como consequência a diminuição da disponibilidade dos micronutrientes e dos macronutrientes para a vegetação e aumenta a solubilidade de Al^{3+} (Prezotti et al., 2013). Além disso, em função do pH pode-se observar prováveis características no solo, como elevados teores de Al^{3+} , baixos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , baixa saturação por bases, boa disponibilidade de Zn, Cu, Fe, Mn, baixa disponibilidade de B, Mo e Cl, deficiência de P (formação de precipitados e elevada adsorção nos coloides), menor perda de N

por volatilização de NH_3 e baixa atividade de microorganismos (Prezotti et al., 2013). Nas ilhas de vegetação estudadas, verificam-se baixos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e valores de acidez potencial elevados e de acidez trocável moderadamente altos, coincidindo com altos valores encontrados de Al^{3+} dos trabalhos de Benites et al. (2003; 2007) e Messias et al. (2013), que apontam que, em geral, esses solos demonstram altos valores de alumínio trocável.

Os teores de cálcio (Ca^{2+}) variaram entre 0,32 e 1,8 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e os de magnésio (Mg^{2+}) variaram entre 0,13 e 0,88 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, enquanto que a soma desses cátions bivalentes ($\text{Ca} + \text{Mg}$) variou de 0,76 a 3,67 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, teores esses considerados baixos. Já os valores de potássio (K) variaram de 0,49 a 1,55 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ e os de sódio (Na) de 0,27 a 2,17 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, sendo que a soma desses cátions monovalentes ($\text{K} + \text{Na}$) variou de 0,46 a 2,41 $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$.

Cabe salientar, que esses valores mais altos de cátions monovalentes encontrados nas ilhas de vegetação rupícola no Morro do Itaoca são incomuns na maior parte dos solos, visto que, na maioria dos casos, seus teores ocorrem de acordo com a série liotrópica². Por esta série os solos, em geral, apresentam maior teor de cálcio do que de magnésio e maior teor de magnésio do que de potássio, e este maior que de sódio, devido ao favorecimento na lixiviação dos cátions monovalente no complexo de troca, pois esses os cátions que são fracamente retidos, possuindo menor valência e maior raio iônico hidratado, tendem a ficar mais distantes da superfície dos colóides do solo e, por sua vez, poderão ser mais facilmente deslocados para a solução do solo (Batista et al., 2018).

Esses valores mais significativos de cátions monovalentes possivelmente ocorre devido a composição mineralógica do Maciço do Itaoca, e usualmente estão associados a solos mineralogicamente pouco intemperizados, no qual verifica-se altos teores de sódio em solos em geral associados a solos pouco intemperizados (Korndorfer, 2007).

Dessa forma, esses teores de cátions monovalentes incomumente mais elevados do que os de cátions bivalentes são, provavelmente, reflexo da composição química e mineralógica dos materiais originais. Assim, os altos valores de K e Na são possivelmente provenientes do intemperismo de plagioclásios sódicos, como a albita e outros plagioclásios ricos em sódio, além

² Série que apresenta a sequência lógica de retenção de cátions pelo solo.

de minerais potássicos na composição mineralógica desse ambiente, visto que os Neossolos Litólicos tem como característica marcante ser influenciado pelo material de origem (Alho et al., 2007), no qual a cor, textura, estrutura e consistência, dependem do tipo de material que deu origem ao solo (Silva e Silva, 1997b).

Nesta lógica, os valores apresentados tanto dos cátions monovalentes e dos bivalentes se devem provavelmente à mineralogia do maciço, como aponta o trabalho de Potratz e Valeriano (2017), no qual se verifica no Maciço do Itaoca variações texturais ao longo do plúton, sendo o mesmo compartimentado em três fácies. As fácies porfírica apresentam uma composição mineralógica composta de quartzo-monzonitos e monzogranitos, compostas majoritariamente por K-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita, além da allanita, minerais opacos, apatita, zircão, monazita e titanita que são componentes acessórios destas rochas (Potratz e Valeriano, 2017). As fácies inequigranular são representadas por rochas leucocráticas a mesocráticas, como os quartzo-monzonitos, sienogranitos e monzogranitos. Já as fácies equigranular são predominantemente compostas de K-feldspato, plagioclásio, quartzo e biotita, que, devido sua ocorrência ser no topo da Serra do Itaoca, encontram-se intensamente intemperizada (Potratz e Valeriano, 2017).

Os solos associados a afloramentos rochosos geralmente apresentam baixa qualidade nutricional e baixos teores de cátions trocáveis (Messias et al., 2013), corroborando com os valores encontrados nesse estudo, no qual esses solos apresentaram baixos teores de bases trocáveis, visto que grande parte da CTC está ocupada por cátions potencialmente tóxicos como H^+ e Al^{3+} este será um solo pobre (Ronquim, 2010).

Entretanto, destaca-se que, mesmo esses solos apresentando valores altos do Al^{3+} e, por isso, baixos teores de bases trocáveis, tais valores de cátions trocáveis são considerados superiores aos normalmente encontrados na maior parte dos solos tropicais. Esses teores podem estar ocorrendo nesse ambiente também como resultado da ciclagem biogeoquímica da vegetação, diferentemente de outros materiais orgânicos em solos associados a afloramentos rochosos (Benites et al., 2003).

No que diz respeito à CTC do solo, observam-se valores que variam de 4,2 a 6,8 $cmol_c kg^{-1}$ de CTC efetiva e de 15,8 a 26,4 $cmol_c kg^{-1}$ de CTC potencial.

Esses valores de CTC relativamente altos e variáveis são reflexos diretos dos distintos teores de matéria orgânica, pois, sobretudo em solos arenosos, a contribuição da matéria orgânica na CTC é mais significativa (Souza, 1996).

Observa-se elevado teor de carbono orgânico, variando de 8,8% e 36,4% (ou de 88 a 364 g kg⁻¹), estando diretamente relacionado ao acúmulo de resíduo vegetal proveniente das vegetações rupícolas que apresentam elevada densidade de raízes finas, possibilitando que os solos dessas ilhas de vegetação resistam ao potencial erosivo dos ventos e do deflúvio superficial da água das chuvas ao longo das encostas. Parte desse C é, possivelmente, herança de material orgânico transportado das áreas adjacentes até as ilhas de vegetação rupícola, destacando que no Maciço do Itaoca observa-se um mosaico de solos e, conseqüentemente, variações na vegetação ao longo dos ecossistemas encontrados nesse ambiente.

Destaca-se que solos arenosos de ambientes quentes e úmidos em geral apresentam baixo conteúdo de matéria orgânica, entretanto os teores de C encontrados nas amostras revelam altos conteúdos de matéria orgânica nesses solos, o que deve decorrer das dificuldades impostas pelas condições ambientais locais à sua decomposição. Além disso, ambientes com pH muito baixos e altos teores de Al trocável, ou seja, em condições de extrema acidez podem gerar uma limitação na decomposição da matéria orgânica do solo e seu acúmulo (Tomé Jr., 1997), podendo ocasionar uma baixa atividade biológica (Miranda et al., 2007)

Os valores de nitrogênio variaram de 0,81 a 2,18 g kg⁻¹ (ou de 0,81% a 2,18%), sendo que os valores da relação carbono/nitrogênio variaram de 10,1 e 16,7. Destaca-se que quanto maiores os teores de matéria orgânica nos solos, maior o aporte de nitrogênio, visto que os compostos orgânicos representam um significativo reservatório de formas de N potencialmente disponíveis (Stevenson, 1994; D'Andréa et al., 2004). Além disso, a relação C/N também se apresenta como um indicador importante da decomposição da matéria orgânica do solo, já que os compostos ricos em N costumam ser mineralizados mais facilmente. No solo de nativo, a fonte de resíduos orgânicos está diretamente associada ao depósito e acúmulo natural de restos de plantas, na forma de folhas, galhos e outros fragmentos orgânicos, bem como substâncias orgânicas derivadas da decomposição das raízes (Pohlman e Mccoll, 1988), sendo os teores de N

influenciados diretamente pela temperatura, umidade, aeração, quantidade e natureza do material orgânico depositado no solo (Camargo et al., 1999).

Destaca-se que menores ou maiores valores de N e alterações na relação C/N podem estar associados à qualidade do material orgânico, apresentando provavelmente, maiores proporções de polímeros orgânicos recalcitrantes (ligninas, resinas e ceras), portanto menos suscetíveis à decomposição pela microbiota do solo. Desse modo, a quantidade de matéria orgânica está intimamente ligada ao teor nitrogênio do solo, visto que em solos que apresentam menos matéria orgânica, há maior necessidade de adição de nutrientes e, por consequência, menor disponibilidade dos nutrientes com a perda da matéria orgânica.

Na Tabela 9 a seguir constam os coeficientes de correlação linear de Pearson entre os valores dos atributos químicos obtidos nas 21 amostras de solo coletadas nas ilhas de vegetação do Maciço do Itaoca, e suas respectivas significâncias pelo teste t de Student.

Tabela 9. Coeficientes de correlação linear de Pearson (abaixo da diagonal) e as respectivas significâncias pelo teste t de Student (acima da diagonal) entre as variáveis pH, acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al³⁺), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de cátions bivalentes (Ca + Mg), potássio (K), sódio (Na), soma de cátions monovalentes (K + Na), CTC efetiva, CTC potencial, carbono (C), nitrogênio (N), relação entre carbono e nitrogênio (C/N).

	H+Al	Al	pH	Ca	Mg	K	Na	K+Na	Ca+Mg	CTCefet	CTCpot	C	N	C/N
H+Al		2,4 10 ⁻³	0,069	0,847	0,501	0,232	0,622	0,416	0,707	0,252	9,2 10 ⁻¹⁵	0,031	1,1 10 ⁻³	0,592
Al	0,626**		0,635	0,176	0,162	0,849	0,436	0,641	0,135	2,1 10 ⁻³	0,004	0,463	0,148	0,293
pH	-0,404*	-0,110 ^{ns}		0,194	0,891	0,037	0,951	0,457	0,303	0,238	0,145	0,718	0,295	0,299
Ca	-0,045 ^{ns}	-0,307 ^{ns}	0,295 ^{ns}		2,1 10 ⁻³	0,284	1,6 10 ⁻⁵	0,001	8,5 10 ⁻¹³	0,840	0,966	0,514	0,380	0,822
Mg	-0,155 ^{ns}	-0,317 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,631**		0,814	0,012	0,076	9,9 10 ⁻⁶	0,798	0,740	0,227	0,335	0,160
K	-0,273 ^{ns}	-0,044 ^{ns}	0,457*	-0,245 ^{ns}	-0,055 ^{ns}		0,003	2,2 10 ⁻⁶	0,377	0,005	0,601	0,731	0,560	0,917
Na	-0,114 ^{ns}	0,179 ^{ns}	-0,014 ^{ns}	-0,796**	-0,538**	0,623**		5,4 10 ⁻¹¹	2,9 10 ⁻⁵	0,079	0,803	0,643	0,713	0,905
K+Na	-0,187 ^{ns}	0,108 ^{ns}	0,172 ^{ns}	-0,655**	-0,395 ^{ns}	0,837**	0,949**		2,4 10 ⁻³	0,018	0,708	0,854	0,978	0,978
Ca+Mg	-0,087 ^{ns}	-0,337 ^{ns}	0,236 ^{ns}	0,967**	0,807**	-0,203 ^{ns}	-0,781**	-0,627**		0,946	0,932	0,371	0,322	0,787
CTCefet	0,262 ^{ns}	0,631**	0,269 ^{ns}	-0,047 ^{ns}	0,059 ^{ns}	0,591**	0,391	0,512**	-0,016 ^{ns}		0,073	0,995	0,730	0,266
CTCpot	0,980**	0,604**	-0,329 ^{ns}	0,010 ^{ns}	-0,077 ^{ns}	-0,121 ^{ns}	-0,058 ^{ns}	-0,087 ^{ns}	-0,020 ^{ns}	0,399 ^{ns}		0,037	1,7 10 ⁻³	0,539
C	0,472*	0,169 ^{ns}	-0,084 ^{ns}	-0,151 ^{ns}	-0,275 ^{ns}	-0,080 ^{ns}	0,108 ^{ns}	0,043 ^{ns}	-0,206 ^{ns}	0,001 ^{ns}	0,458*		3,3 10 ⁻¹⁰	1,4 10 ⁻³
N	0,662**	0,327 ^{ns}	-0,240 ^{ns}	-0,202 ^{ns}	-0,221 ^{ns}	-0,135 ^{ns}	0,085 ^{ns}	0,006 ^{ns}	-0,227 ^{ns}	0,080 ^{ns}	0,643**	0,938**		0,094
C/N	-0,124 ^{ns}	-0,241 ^{ns}	0,238 ^{ns}	0,052 ^{ns}	-0,318 ^{ns}	-0,024 ^{ns}	0,028 ^{ns}	0,006 ^{ns}	-0,063 ^{ns}	-0,254 ^{ns}	-0,142 ^{ns}	0,652**	0,375 ^{ns}	

Obs.: Coeficientes de correlação linear de Pearson seguidos de "ns" são não significativos e os seguidos de "*" e "**" são significativos, respectivamente, a p<5% e p<1% de probabilidade pelo teste t de Student.

Em relação às correlações (Tabela 9), verificaram-se correlações positivas entre a acidez potencial e a acidez trocável, entre a acidez potencial e a CTC potencial e entre a acidez trocável e CTC tanto efetiva quanto potencial. Essas correlações positivas são esperadas, visto que a acidez efetiva entra na somatória para a obtenção da CTC efetiva e a acidez potencial na somatória para a obtenção da CTC potencial. Além disso, esses valores manifestaram-se coerentes com altos teores de matéria orgânica encontrados nesses solos. Em consequência, observa-se que o carbono se correlacionou positivamente com as variáveis acidez potencial, CTC potencial e o teor de nitrogênio, vislumbrando-se como os teores de matéria orgânica influenciam os solos nas ilhas de vegetação.

Os teores dos cátions trocáveis no solo são contabilizados nas somas para a obtenção da CTC tanto potencial quanto efetiva. Apesar disto, não houve correlação entre a CTC potencial e os teores dos cátions trocáveis no solo, possivelmente por esses responderem a uma fração muito pequena da CTC potencial que, majoritariamente, foi dependente da disponibilização de sítios de troca latentes ocupados por $H+Al$. A CTC efetiva, por outro lado, correlacionou-se positivamente com os teores de potássio e sódio, mas não com os de cálcio e magnésio. Essas correlações são condizentes com o fato de que esses solos apresentaram teores mais baixos de cátions bivalentes do que de cátions monovalentes, de modo que estes últimos contribuem de forma mais expressiva para a CTC efetiva.

O pH correlacionou-se apenas com a acidez potencial, e não com a acidez trocável, o que difere do esperado, já que um maior teor de Al trocável poderia significar uma maior presença de Al na solução e indiretamente impactar o pH do solo.

Em relação às bases trocáveis, o magnésio (Mg) correlacionou negativamente com sódio (Na), enquanto o cálcio correlacionou negativamente com a soma de potássio e sódio (K + Na). Desse modo, tais correlações demonstram que quando ocorre o aumento do conjunto de cálcio e magnésio, ocorre a diminuição dos valores de K e Na.

Como já dito, o carbono se correlacionou com a acidez potencial, a CTC potencial e, como esperado, com o nitrogênio. O nitrogênio, por outro lado, se correlacionou positivamente, além do C, com a CTC potencial, visto que o

aumento dos teores de carbono orgânico gera o aumento do carbono lábil que, conseqüentemente, aumenta o nitrogênio disponível do solo (Beltrán et al., 2018).

Na Tabela 10, constam os valores médios dos atributos químicos em cada uma das seis ilhas de vegetação estudadas. Em relação aos valores de acidez potencial, a maior média ocorreu no solo da ilha de vegetação 4 e o menor no da ilha 3. Quanto à acidez trocável, a ilha 4 apresentou a maior média enquanto a ilha 5 manifestou menor média entre as ilhas. Destaca-se que a ilha que apresenta os valores mais altos de acidez potencial e de acidez trocável é a mesma em que ocorrem os mais altos teores de C (e de N), visto que em solos ricos em matéria orgânica, principalmente se estes apresentarem baixos valores de pH, observam-se valores elevados de H+Al. Além disso, percebe-se baixos valores de Ca, Mg, K e Na característicos de solos que manifestam valores de pH baixos, apresentando, assim, um caráter ácido no solo. Desse modo, os valores médios observados na Tabela 10 permitem reafirmar as informações citadas acima sobre as relações entre as diferentes variáveis, em que os altos teores de matéria orgânica consistem no fator fundamental para os valores encontrados de pH, de acidez trocável e potencial, das bases e da CTC.

Tabela 10. Valores médios de acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al^{3+}), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de cálcio e magnésio (Ca +Mg, potássio (K), sódio (Na), soma de potássio e sódio (K + Na), CTC efetiva, CTC potencial, carbono (C), nitrogênio (N), relação carbono e nitrogênio (C/N), referentes aos solos das seis ilhas de vegetação estudadas do Morro do Itaoca, em Campos dos Goytacazes (RJ).

Ilhas	H+Al	Al	pH	K+Na	Ca+Mg	CTC _{cmol_c kg⁻¹}		C	N	C/N
						CTC _{efet}	CTC _{pot}			
Ilha 1	15,6	2,37	4,71	2,37	1,48	4,73	18,0	9,6	0,93	10,3
Ilha 2	18,0	2,40	4,00	1,94	0,66	4,34	19,9	17,7	1,45	12,2
Ilha 3	14,5	1,82	4,65	1,72	1,30	3,54	16,2	16,5	1,07	15,4
Ilha 4	21,8	2,77	4,42	1,78	1,37	4,54	23,6	24,7	1,72	14,4
Ilha 5	16,2	1,70	4,05	2,30	1,47	4,00	18,5	21,3	1,41	14,5
Ilha 6	15,3	2,10	4,71	3,27	0,52	5,37	18,6	24,3	1,55	15,5

4.3 Indicadores da afinidade solo-água e composição da matéria orgânica do solo

A Tabela 11 apresenta o resumo estatístico referente aos atributos indicadores da afinidade solo-água bem como os relacionados à composição da

matéria orgânica do solo, enquanto na Tabela 12 constam os coeficientes de correlação linear de Pearson entre essas mesmas variáveis e suas respectivas significâncias pelo teste t de Student.

Tabela 11. Medidas estatísticas para os valores de tempo de penetração da gota de água (TPGA, em s), molaridade da gota de etanol (MGE, em mol L⁻¹), índice R (adimensional), ângulo de contato água-solo (ângulo, em graus), e bandas características de materiais orgânicos hidrofóbicos no espectro de refletância no infravermelho (DRIFT), sendo a banda 1 (de 900 a 930 cm⁻¹) as deformações em ligações C-H aromáticos, a banda 2 (de 1350 a 1500 cm⁻¹) as deformações em grupos CH₂ e CH₃, e a banda 3 (de 2800 a 3000 cm⁻¹) as ligações alifáticas que incluem os estiramentos C-H dos grupos metil e metileno

Medidas estatísticas	TPGA	MGE	R	Ângulo	Banda 1	Banda 2	Banda 3
Média	126,0	0,5	17,7	61,0	0,5	4,1	4,8
Mediana	8,4	0,0	4,4	76,8	0,4	4,7	4,7
Valor mínimo	1,2	0,0	0,8	0,0	0,2	1,9	2,3
Valor máximo	2208,0	3,1	209,1	103,5	1,0	5,6	8,4
Quartil inferior	3,3	0,0	1,1	17,1	0,3	2,7	3,7
Quartil superior	12,7	0,7	11,4	94,6	0,6	5,2	5,7
Desvio padrão	478,5	0,8	45,4	39,9	0,2	1,3	1,4
Coef. de variação (%)	379,6	184,6	256,3	65,4	43,8	31,6	28,7
Coef. de assimetria	4,54	2,20	4,14	-0,66	0,89	-0,62	0,61
Coef. de curtose	20,7	4,82	17,9	-1,25	0,89	-1,32	1,04

Tabela 12. Coeficientes de correlação linear de Pearson (abaixo da diagonal) e as respectivas significâncias pelo teste t de Student (acima da diagonal) entre as variáveis tempo de penetração da gota de água (TPGA), molaridade da gota de etanol (MGE), índice R, ângulo de contato água-solo (Ângulo), e as bandas 1, 2 e 3 no espectro de refletância no infravermelho (DRIFT), características de materiais orgânicos hidrofóbicos.

	TPGA	MGE	R	Ângulo	Banda 1	Banda 2	Banda 3
TPGA		$3,7 \cdot 10^{-5}$	$7,4 \cdot 10^{-14}$	0,221	0,658	0,630	0,298
MGE	0,775**		$1,1 \cdot 10^{-7}$	$9,8 \cdot 10^{-3}$	0,416	0,847	0,397
R	0,975**	0,884**		0,088	0,649	0,764	0,261
Ângulo	0,279 ^{ns}	0,550**	0,382 ^{ns}		0,580	0,697	0,949
Banda 1	-0,103 ^{ns}	-0,187 ^{ns}	-0,106 ^{ns}	-0,128 ^{ns}		0,662	0,245
Banda 2	-0,112 ^{ns}	0,045 ^{ns}	-0,070 ^{ns}	-0,090 ^{ns}	-0,101 ^{ns}		$9,8 \cdot 10^{-4}$
Banda 3	0,238 ^{ns}	0,195 ^{ns}	0,257 ^{ns}	0,015 ^{ns}	0,265 ^{ns}	-0,666**	

Obs.: Coeficientes de correlação linear de Pearson seguidos de “ns” são não significativos e os seguidos de “*” e “***” são significativos, respectivamente, a p<5% e p<1% de probabilidade pelo teste t de Student

Os valores obtidos pelo método do tempo de penetração da gota de água (TPGA) para as 21 amostras de solo variaram de 2208,0 a 1,2 segundo (Tabela 11). Por esses valores observam-se amostras tanto inicialmente “molháveis” (TPGA < 10 s) como inicialmente “não molháveis” (TPGA ≥ 10 s), indicando assim graus diferenciados de repelência à água do solo de acordo com os limites

estabelecidos por Watson e Letey (1969), Bisdorn et al. (1993), Doerr (1998) e Roy e McGill (2002).

Os valores do índice R para as amostras “molháveis”, obtidos pelo teste da sortividade na infiltração inicial, variaram de 0,828 a 5,249, enquanto para as “não molháveis”, obtidos pelo método da molaridade da gota de etanol, variaram de 5,125 a 209,1, observando-se graus diferenciados tanto de hidrorrepelência ou hidrofobicidade subcrítica quanto de hidrofobicidade efetiva. A aplicação do método da molaridade da gota de etanol nas amostras “não molháveis” levou a valores que variaram de 0 a 3,1 mol L⁻¹, os quais, por si só, já revelam os distintos graus de severidade do fenômeno de nessas amostras de solo “não molháveis”.

Destaca-se que o índice R, de acordo com Volgelmann et al. (2013), pode sofrer alterações, ou seja, pode aumentar ou diminuir em um solo, visto que esse parâmetro é dependente da relação entre sortividade do álcool e água, sendo influenciado pelo potencial mátrico, a porosidade e pela hidrofobicidade do solo. Ademais, segundo Philip (1957), a sortividade tem como objetivo descrever a capacidade de um solo homogêneo em absorver água na ausência dos efeitos gravitacionais. Desse modo, a presença de compostos hidrofóbicos promove mudanças na sortividade do solo, influenciando os processos de infiltração de água (Vogelmann et al., 2013).

Quanto ao ângulo de contato solo-água, os valores obtidos para as 21 amostras de solo variaram de 0 a 103,5°. Em área de floresta nativa, nas profundidades iniciais do solo, Olorunfemi e Fasinmirin (2017) encontraram valores de ângulo de contato com variação de 72° a 84°, podendo-se classificar tais amostras como “subcriticamente hidrofóbicas”. Quando os valores de ângulo de contato são pequenos, próximos a 0°, os solos não são considerados hidrofóbicos, mas à medida que esse ângulo de contato vai aumentando de 0° a 90°, os solos podem ser considerados “subcriticamente hidrofóbicos” ou “subcriticamente hidrorrepelentes” (Orfánus et al., 2014). Quando os valores de ângulo de contato ficam acima de 90° os solos são considerados efetivamente “hidrofóbicos” (Watson e Letey, 1969), sendo esse comportamento provavelmente é proveniente da presença de substância com caráter hidrofóbico.

Destaca-se que as variações nos valores de TPGA, de MGE e do índice R nas amostras, apontando graus diferenciados de severidade do fenômeno de hidrofobicidade, seja um comportamento possivelmente vinculado não somente à

quantidade da matéria orgânica do solo, mas que pode ser atribuído, sobretudo, à qualidade dessa matéria orgânica. Dessa maneira, a dependência de distintos fatores gera uma variabilidade espacial e temporal expressiva desse fenômeno (Buczko et al., 2005), observando-se diferentes respostas a esse fenômeno nas 21 amostras aqui estudadas.

Foi possível, por meio da espectroscopia no infravermelho, observar bandas características da presença de inúmeros grupos de compostos orgânicos. Cabe ressaltar que, na interpretação desses espectros, foi dado destaque a bandas associadas a compostos hidrofóbicos. Nesse sentido, foi possível delimitar três bandas principais, sendo a banda 1 (de 900 a 930 cm^{-1}) relacionada às deformações em ligações C-H aromáticos, a banda 2 (de 1350 a 1500 cm^{-1}) relacionada às deformações em grupos CH₂ e CH₃, e a banda 3 (de 2800 a 3000 cm^{-1}) relacionada às ligações alifáticas que incluem os estiramentos C-H dos grupos metil e metileno (Piccolo e Mirabella, 1985; Stevenson, 1994; Guo e Bustin, 1997; Senesi et al., 2003; Tan, 2003; Leue et al., 2010; Egli et al., 2010; Voelkner et al., 2014; Nuzzo et al., 2020). Para essas três bandas, os valores de área sob os picos, estimados a partir da integração numérica e usando como referência a linha basal do espectro, foram utilizados como quantificadores empíricos dos compostos nas referidas bandas. Como resultado, a banda 1 apresentou valores de integral variando de 0,2 a 1,0, a banda 2 apresentou valores entre 1,9 a 5,6, e a banda 3 valores entre 2,3 a 8,4, devendo a pertinência desta quantificação empírica ser validada a partir do confronto entre os valores obtidos para as três bandas e atributos do solo que possam sensíveis à presença das substâncias hidrofóbicas que essas bandas se referem.

Os espectros no infravermelho, de forma geral, demonstraram que as amostras apresentam comportamento bastante similar entre si, apresentando sinais característicos aos espectros de compostos hidrofóbicos em determinadas regiões, ocorrendo poucas variações nas suas frequências (Tabela 13).

Tabela 13. Principais possíveis atribuições das bandas de absorção nos espectros de infravermelho observadas nas amostras das ilhas de vegetação rupícola do Morro do Itaoca, Campos dos Gaytacazes, RJ. (Piccolo e Mirabella, 1985; Stevenson, 1994; Guo e Bustin, 1997; Senesi et al., 2003; Tan, 2003; Leue et al., 2010; Egli et al., 2010; Voelkner et al., 2014; Nuzzo et al., 2020).

Bandas de absorção (cm^{-1})	Atribuição
--	------------

3.000 - 2.8000	Região alifática
2.980 – 2.880	Alongamentos C-H alifático (grupos metil e metileno alifáticos)
1500 – 1350	Deformações CH ₂ e CH ₃
1440	Alongamento alifático C-H
910 -900	Deformações C-H aromáticos

Na Tabela 12, verificam-se os coeficientes de correlação entre os atributos físico-hídricos do solo relacionados à afinidade água-solo e os indicativos de compostos hidrofóbicos identificados por espectroscopia no infravermelho. Observa-se correlação positiva entre o TPGA e o MGE, como também entre o TPGA e o ângulo de contato água-solo. Além disso, o MGE correlacionou positivamente com o ângulo de contato água-solo, e o índice R correlacionou positivamente com o TPGA e o MGE.

Em relação às bandas hidrofóbicas do espectro de infravermelho, apenas a banda 3 do espectro correlacionou-se negativamente com a banda 2, não havendo outras correlações significativas entre as bandas ou destas com os demais atributos constantes na Tabela 12.

A partir das correlações, percebe-se que os testes referentes à hidrofobicidade, como o TPGA, MGE e a sortividade intrínseca na infiltração inicial são complementares entre si e refletem as características de repelência à água das amostras de solo.

Na Tabela 14 são apresentados os resultados obtidos com a análises do “tempo de penetração de gotas de água” (TPGA), da “molaridade das gotas de etanol” (MGE) e da “sortividade intrínseca na infiltração inicial” (índice R). Primeiramente, a partir do teste TPGA, verificou-se que 12 das 21 amostras foram identificadas como inicialmente molháveis, com ângulos de contato $\alpha \leq 90^\circ$ (Watson e Letey, 1969). Esses solos, mesmo apresentando algum grau de hidrofobicidade, são considerados apenas subcriticamente hidrorrepelentes, pois seu umedecimento é quase instantâneo ou ocorre em poucos segundos. Por outro lado, as outras nove amostras foram identificadas como inicialmente não-molháveis, com ângulo $\alpha > 90^\circ$, desse modo apresentando nível de hidrorrepelência que impediu a penetração da gota de água dentro do tempo crítico de 10 segundos.

Tabela 14. Resultados dos métodos “tempo de penetração de gotas de água” (TPGA), “molaridade das gotas de etanol” (MGE) e “sortividade intrínseca na infiltração inicial” (índice R) para avaliação do grau de repelência à água de solos das ilhas de vegetação rupícola do Morro do Itaoca, Campos dos Goytacazes, RJ.

Amostra	TPGA (s)	MGE (mol L ⁻¹)	R	Classificação do grau de hidrofobicidade pelos métodos:			
				TPGA-1	TPGA-2	MGE	Índice R
19	1,2	-	0,846	Molhável	Muito baixa	-	Hidrofílica
12	1,4	-	2,889	Molhável	Muito baixa	-	Hidrof. leve
13	1,4	-	1,209	Molhável	Muito baixa	-	Hidrofílica
11	1,8	-	3,267	Molhável	Muito baixa	-	Hidrof. leve
14	3,0	-	1,475	Molhável	Muito baixa	-	Hidrofílica
17	3,6	-	0,839	Molhável	Muito baixa	-	Hidrofílica
18	4,4	-	0,862	Molhável	Muito baixa	-	Hidrofílica
10	5,0	-	4,369	Molhável	Muito baixa	-	Hidrof. leve
15	6,2	-	1,291	Molhável	Baixa	-	Hidrofílica
20	7,4	-	0,828	Molhável	Baixa	-	Hidrofílica
21	8,4	-	0,974	Molhável	Baixa	-	Hidrofílica
4	8,8	-	5,249	Molhável	Baixa	-	Hidrof. leve
7	11,2	0,521	9,401	Não molhável	Baixa	Baixa	-
8	11,8	0,047	5,320	Não molhável	Baixa	Baixa	-
9	11,8	0,446	8,596	Não molhável	Baixa	Baixa	-
6	12,4	0,009	5,125	Não molhável	Baixa	Baixa	-
16	13,0	1,834	44,529	Não molhável	Baixa	Moderada	-
1	87,6	0,826	13,493	Não molhável	Moderada	Baixa	-
3	115,4	1,652	35,876	Não molhável	Moderada	Moderada	-
5	123	0,977	16,132	Não molhável	Moderada	Baixa	-
2	2208	3,140	209,08	Não molhável	Severa	Severa	-

Obs.: Classificação TPGA-1 (Roy e McGill, 2002): molhável, para $TPGA \leq 10$ s, ou não-molhável, para $TPGA > 10$ s; Classificação TPGA-2 (King, 1981): hidrofobicidade muito baixa, para $TPGA \leq 5$ s, baixa, para $5 < TPGA \leq 60$ s, moderada, para $60 < TPGA \leq 600$ s, severa, para $600 < TPGA \leq 3600$ s, ou muito severa, para $TPGA > 3600$ s; Classificação pelo MGE (King, 1981): hidrofobicidade baixa, para $MGE \leq 1,0$ mol L⁻¹, moderada, para $1,0 < MGE \leq 2,2$ mol L⁻¹, severa, para $2,2 < MGE \leq 3,2$ mol L⁻¹, ou muito severa, para $MGE > 3,2$ mol L⁻¹; Classificação pelo índice R (Iovino et al., 2018): hidrofílica (ou não subcriticamente hidrorrepelente), para $R \leq 1,95$, ou tendo grau de hidrorrepelência subcrítica leve (Hidrof. Leve), para $1,95 \leq R < 10$, forte, para $10 \leq R < 50$, severa, para $50 \leq R < 110$, ou extrema, para $R \geq 110$.

Das doze amostras do grupo dos solos “molháveis” (com $TPGA < 10$ s), nove amostras foram classificadas no grau de repelência muito baixa ($TPGA \leq 5$ s) e, somente três amostras foram caracterizadas com grau de repelência baixa ($5 < TPGA \leq 60$ s). Essas duas amostras foram classificadas dentro do grau de repelência muito baixa ou baixa, visto que os valores de TPGA apresentados por estas ficaram entre 5 e 10 s, que são os dois limites de tempo estabelecidos arbitrariamente como críticos para um solo ser considerado hidrofóbico.

Nas nove amostras que pelo TPGA foram alocadas no grupo das “não-molháveis”, aplicou-se o teste da molaridade da gota por etanol (MGE), sendo que

o grau máximo de repelência observado foi de hidrofobicidade severa ($2,2 < \text{MGE} \leq 3,2 \text{ mol L}^{-1}$), identificada em apenas uma amostra (MGE de $3,140 \text{ mol L}^{-1}$), coincidindo com a classificação que essa mesma amostra apresentou pelo TPGA (ou seja, grau de repelência severa por ambos os métodos). Além disso, duas amostras manifestaram grau de repelência moderada, com valores de MGE de $1,652$ e $1,834 \text{ mol L}^{-1}$ (ou seja, $1,0 < \text{MGE} \leq 2,2 \text{ mol L}^{-1}$), enquanto que as outras seis amostras foram identificadas com grau de repelência baixa ($\text{MGE} \leq 1,0 \text{ mol L}^{-1}$).

Em relação ao índice de repelência (R) obtido a partir da sortividade intrínseca de água e etanol na infiltração inicial, o método foi aplicado nas doze amostras que foram classificadas pelo TPGA como “molháveis”, destacando-se que oito amostras demonstraram ser hidrofílicas, ou seja, foram identificadas como subcriticamente hidrorrepelentes, por exibirem valores de índice R abaixo do valor crítico ($R \leq 1,95$). No que diz respeito às outras quatro amostras, elas manifestaram valores de índice R acima do limite crítico de $1,95$ estabelecido para a constatação de hidrofobicidade, variando entre $2,889$ e $5,249$, apresentando, assim, grau de hidrorrepelência subcrítica leve (ou seja, $1,95 \leq R < 10$).

Por último, no presente trabalho pôde-se verificar distintos resultados obtidos nos ensaios de infiltração utilizando-se de líquidos diferentes (água e o etanol), no qual mesmo em pequenas quantidades a presença de substâncias orgânicas hidrofóbicas é o bastante para induzir uma condição de repelência do solo à água (Dekker et al., 2009). Tal comportamento pode se apresentar visto que as substâncias orgânicas podem revestir as partículas minerais acarretando no aumento dos valores do ângulo de contato água-solo, assumindo assim valores superiores a zero, ou mesmo, superiores a 90° .

Vogelmann et al. (2013) relatam que o potencial mátrico e a hidrofobicidade das partículas do solo influenciam o fenômeno da sortividade. Em solos arenosos é comum observar a ocorrência generalizada do revestimento das partículas por substâncias orgânicas, isso devido à área superficial específica do solo ser relativamente pequena, aumentando o índice de repelência do solo.

O comportamento hidrofóbico de solos possivelmente é influenciado pela qualidade e pela natureza dos compostos orgânicos presentes na camada superficial dos solos, estando o acúmulo desse material diretamente relacionado com o tipo de vegetação local (Moura, 2018). Ellerbrock et al. (2005) apontam a

vegetação como uma das principais fontes diretas de compostos orgânicos hidrofóbicos (ceras, lipídeos e resinas) bastantes estáveis e de decomposição lenta, ocasionado assim um acúmulo na camada superficial do solo que induz à condição de hidrofobicidade.

Destaca-se que diversas plantas de *inselberg* apresentam modificações como resposta às condições na qual estão inseridas, assim muitas vezes apresentam substâncias como ceras, lipídeos e resinas em suas folha para evitar a perda de água. Como resposta à alta irradiância e baixa disponibilidade de água, muitas plantas, de acordo com Kluge e Ting (1978), podem modificar a espessura e na suculência dos tecidos foliares, visto que folhas mais suculentas refletem a capacidade de armazenamento de água (Lamont e Lamont, 2000; Schwinning e Ehleringer, 2001). Assim, devido a pouca disponibilidade de nutrientes as plantas também são capazes de produzir exsudatos radiculares hidrofóbicos, tornando a área do solo próxima às raízes hidrófoba, com o objetivo de aumentar a disponibilidade de nutrientes (Hallet et al., 2003; Rillig, 2005).

Hallett et al. (2003) e Hallett (2008) também apontam que os componentes hidrofóbicos produzidas pela vegetação são mecanismos essenciais de defesa, pois as ceras e os lipídeos nas folhas possuem a capacidade de proteger a planta contra a ação da irradiação como também contra a perda de excessiva de água através da transpiração. Dessa forma, pode-se observar nas ilhas de vegetação que a deposição de restos vegetais na superfície do solo levam a um acúmulo de uma rica camada de material orgânico e que traz como consequência o fenômeno de repelência do solo à água.

Observou-se que as 21 amostras apresentaram em seus espectros picos de bandas características de compostos hidrofóbicos, apesar de demonstrarem graus diferenciados de hidrorrepelência à água. Na Figura 10 está apresentado o espectro da amostra 2, representando a amostra com o grau mais severo de hidrofobicidade identificado pelo tempo de penetração de gota de água e pelo teste da molaridade da gota de etanol. Na Figura 11 consta o espectro da amostra 12, que não apresentou hidrofobicidade significativa, a despeito de se verificar, a partir dos espectros do infravermelho, que essa amostra também possui compostos hidrofóbicos. Logo, a presença desses compostos não é determinante para a característica mais hidrofóbica de algumas amostra, mas possivelmente é para outras, visto que as características da matéria orgânica afetam a

solubilidade, molhabilidade, estabilidade e sortividade (Guggenberger et al., 1996; Capriel et al., 1995; Capriel, 1997).

De acordo com a literatura (Piccolo e Mirabella, 1985; Stevenson, 1994; Guo e Bustin, 1997; Senesi et al., 2003; Tan, 2003; Leue et al., 2010; Egli et al., 2010; Voelkner et al., 2014; Nuzzo et al., 2020), a presença desses compostos dos grupos metila, metileno e metil alifáticos e aromáticos (olefínicos) possivelmente são responsáveis pelas características hidrofóbicas visualizadas nas amostras do *inselberg* do Morro do Itaoca. Destacam-se os alongamentos e as vibrações das ligações C-H alifático que normalmente aparecem na região de absorção IR de 3000-2800 cm^{-1} (Capriel et al., 1995).

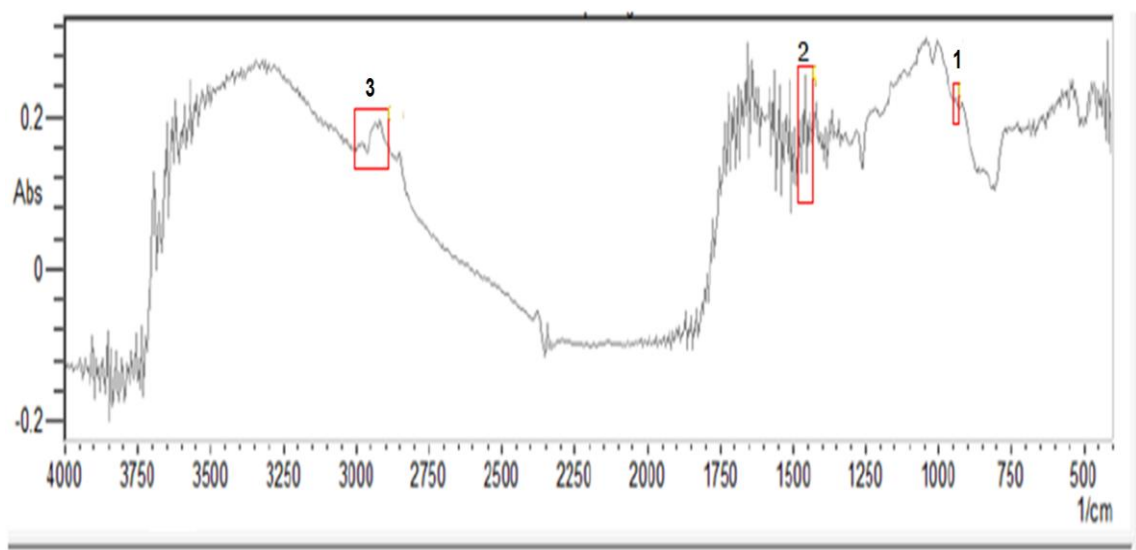


Figura 10: Espectros de DRIFT da amostras de solo 2 da ilha de vegetação 3

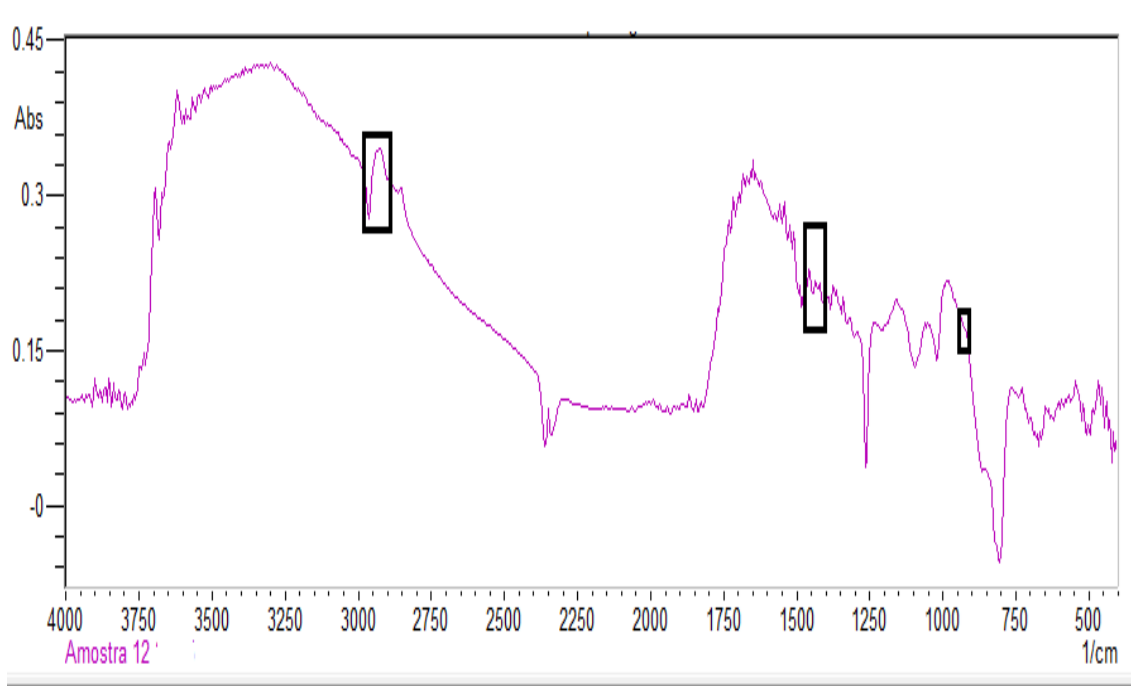


Figura 11: Espectros de DRIFT da amostra 12 do solo da ilha de vegetação 2.

Destaca-se que o mapeamento DRIFT indica uma heterogeneidade em pequena escala da composição e distribuição da matéria orgânica dos solos das ilhas de vegetação rupícola.

Os resultados da espectroscopia no infravermelho estão de acordo com os obtidos por Doerr et al. (2005), no qual demonstra-se que a repelência do solo à água está pouco relacionada com a fração apolar da matéria orgânica. Em relação aos resultados da espectroscopia no infravermelho obtidos por Franco et al. (2000), em trabalho realizado a partir das análises físico-químicas em solos arenosos na Austrália, esses indicaram que a fração anfífilica e polar da matéria orgânica possui maior contribuição para o caráter hidrofóbico do solo. Destaca-se que essa fração apolar da matéria orgânica origina-se durante a fase mais intensa da decomposição e/ou degradação e ciclagem dos materiais vegetais, em especial de derivados da cutina e da suberina (Hansel et al., 2008; Madsen et al., 2011).

A ausência ou presença desses compostos orgânicos não é, entretanto, essencialmente o único fator responsável por influenciar o fenômeno de repelência do solo à água, visto que o efeito da hidratação e do arranjo intramolecular do material devem ser considerados (Taumer et al., 2005). O conteúdo de água no solo se destaca como um dos um dos fatores que mais influencia a ocorrência desse fenômeno, visto que a hidrofobicidade se apresenta

como um fenômeno dinâmico, ou seja, no qual a variação espacial e temporal também influenciam no processo para a ocorrência do fenômeno (Gerke et al., 2001; Rodrigues-Alleres et al., 2007; Vogelmann et al., 2015).

Desse modo, os altos teores de matéria orgânica encontrados nos solos das ilhas de vegetação rupícola simplesmente não consistem no único fator para a ocorrência de graus diferenciados de hidrofobicidades das amostras identificados pelos testes do tempo de penetração da gota de água, método da molaridade da gota de etanol e a sortividade intrínseca na infiltração inicial Taumer et al. (2005), por exemplo, encontraram como resultados em amostras coletadas em áreas de pastagens na Alemanha que quanto menor o teor de matéria orgânica, maior o tempo de penetração de gotas de água, o que poderia estar associado à capacidade da matéria orgânica em reter água em sua estrutura.

Cabe salientar que, no presente estudo, a quantidade de matéria orgânica não consistiu num fator fundamental para a diferenciação dos graus de repelência e severidade da hidrofobicidade. A amostra 3, contendo 32,3% de matéria orgânica, não se apresentou como a amostra mais hidrofóbica, enquanto que a amostra 2, possuindo um teor de matéria orgânica de 28,9%, menor do que o da amostra 3, foi identificada como a amostra com grau mais severo de hidrofobicidade. Além disso, a partir dos dados das correlações entre os teores de C e os atributos relacionados à repelência do solo, verifica-se que houve correlação entre C e a banda 3 do espectro de infravermelho, não havendo outras correlações significativas entre as outras bandas ou os demais atributos.

No presente estudo observa-se que a natureza da matéria orgânica do solo consistiu num fator mais relevante para o caráter hidrofóbico das amostras, pois ao se encontrar maiores concentrações de estruturas aromáticas nas frações da matéria orgânica, maior a característica hidrofóbica irá se apresentar, e quanto maior sua acidez carboxílica ou fenólica, mais hidrofílico o material se apresenta. Além disso, conforme Capriel et al. (1995), os grupos alifáticos de C possuem as estruturas mais recalcitrantes da matéria orgânica do solo, ou seja, detêm maior resistência a degradação.

De acordo com Vogelmann et al. (2013), os solos arenosos são mais suscetíveis ao surgimento do caráter hidrofóbico, pois esses solos possuem maior facilidade de recobrimento da areia por substâncias hidrofóbicas, visto que sua superfície específica é menor, de modo que uma pequena quantidade de

compostos hidrofóbicos pode ser capaz de imprimir um elevado grau de hidrofobicidade (Woche et al., 2005; Vogelmann et al., 2010, 2012).

No trabalho com solos arenosos de Rye e Smettem (2017) foi observado que a forte repelência da água é característica das camadas superficiais, pois concentram maiores teores de matéria orgânica, havendo a diminuição do caráter hidrofóbico com a profundidade. Desse modo, pode-se observar, por meio dos dados já citados, que tanto o teor quanto a forma como a matéria orgânica está distribuída acima da superfície das partículas do solo desempenha um papel fundamental em relação à facilidade com que o solo se torna repelente à água (Doerr et al., 2006).

A hidrofobicidade é causada, sobretudo, por carbonos e hidrogênios alifáticos presentes em metil e metilenos, os quais consistem em grupos funcionais presentes na composição da matéria orgânica (Simon et al., 2009). Ademais, em solos apresentando granulometria mais grossa, a hidrofobicidade estaria mais ligada à qualidade da matéria orgânica, visto a facilidade dos compostos orgânicos em revestir o entorno das partículas de área.

Na Tabela 15, constam os valores médios de cada um desses atributos em cada uma das seis ilhas de vegetação rupícola estudadas. Em relação aos valores de índice R e do ângulo de contato água-solo, as maiores médias ocorreram no solo da ilha de vegetação 3 e as menores foram verificadas na ilha 5, o que corrobora a correlação positiva entre os valores do índice R e do ângulo de contato (Tabela 12).

Em relação às bandas características de compostos orgânicos, nota-se que a banda 1 na ilha 5 apresentou maior média enquanto que a ilha 3 foi a menor. Na banda 2 de absorção do espectro a maior média apresentada foi da ilha 1, e a menor média foi da ilha 2. Por fim, na banda 3 a maior média foi expressa pela ilha 5 e a menor pela ilha 1.

Tabela 15. Valores médios do índice R (R), ângulo de contato (ângulo), e as bandas 1 (900 a 930 cm^{-1}), 2 (1350 a 1500 cm^{-1}) e 3 (2800 a 3000 cm^{-1}) características de materiais orgânicos hidrofóbicos.

Ilhas de Vegetação	R	Ângulo	Banda 1	Banda 2	Banda 3
Ilha 1	1,33	40,3	0,43	5,03	4,36
Ilha 2	4,78	78,0	0,59	2,99	4,70
Ilha 3	56,0	94,7	0,32	4,17	4,79
Ilha 4	6,62	91,4	0,49	4,31	4,75
Ilha 5	0,88	0,00	0,66	4,32	5,39

Ilha 6	15,4	33,3	0,34	4,34	4,79
--------	------	------	------	------	------

4.4 Correlações entre atributos dos diferentes grupos de variáveis

As Tabelas 16, 17 e 18 apresentam os coeficientes de correlação linear de Pearson entre as variáveis dos diferentes grupos anteriormente destacados (itens 4.1, 4.2 e 4.3) e suas respectivas significâncias pelo teste t de Student.

Tabela 16. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre variáveis físicas e da decomposição do material orgânico com as variáveis químicas, determinadas nas 21 amostras de solo das ilhas de vegetação estudadas do Morro do Itaoca, em Campos dos Goytacazes (RJ)

	D_p	Areia	Silte	Argila	FT	FE	VP	IP
H+Al	<i>-0,449*</i>	<i>-0,710**</i>	<i>0,671**</i>	<i>0,702**</i>	0,233	0,309	-0,291	-0,262
Al	-0,168	-0,330	0,295	0,342	0,207	0,195	-0,385	-0,286
pH	0,214	0,242	-0,313	-0,153	-0,255	-0,284	<i>-0,477*</i>	0,130
K+Na	-0,101	0,071	-0,046	-0,093	0,425	0,330	-0,282	-0,223
Ca+Mg	0,252	0,107	-0,140	-0,067	<i>-0,717**</i>	<i>-0,570**</i>	-0,017	-0,239
CTC _{efet}	-0,023	-0,119	0,088	0,141	-0,037	-0,008	<i>-0,594**</i>	<i>-0,669**</i>
CTC _{pot}	<i>-0,438*</i>	<i>-0,701**</i>	<i>0,660**</i>	<i>0,696**</i>	0,187	0,277	-0,379	-0,387
C	<i>-0,949**</i>	<i>-0,838**</i>	<i>0,816**</i>	<i>0,807**</i>	<i>0,730**</i>	<i>0,806**</i>	<i>-0,569**</i>	-0,173
N	<i>-0,914**</i>	<i>-0,894**</i>	<i>0,842**</i>	<i>0,889**</i>	<i>0,663**</i>	<i>0,758**</i>	<i>-0,459*</i>	-0,300
C/N	<i>-0,552**</i>	-0,309	0,379	0,216	<i>0,527*</i>	<i>0,513*</i>	<i>-0,470*</i>	0,266

Obs.: Coeficientes de correlação linear de Pearson em *itálico* e seguidos de “**” e “***” são significativos, respectivamente, a $p < 5\%$ e $p < 1\%$ de probabilidade pelo teste t de Student (os demais não são significativos).

Como ficou evidenciado nos itens anteriores, o teor e a natureza da matéria orgânica influenciam de forma determinante a maioria dos atributos dos solos estudados e, assim, têm papel basilar na formação, preservação e funcionamento das ilhas de vegetação. Pela Tabela 16 verifica-se que o teor de carbono se correlacionou positivamente com as variáveis silte, argila, fibras totais e fibras esfregadas e negativamente com as variáveis densidade de partículas, areia e VP (escala de Von Post). A correlação do carbono com as frações granulométricas silte e argila, positiva, e areia, negativa, decorre da proteção física que as frações mais finas proporcionam à matéria orgânica do solo, que fica retida no interior dos agregados, enquanto teores mais elevados de areia favorecem a degradação da MO do solo por limitar a formação desses agregados protetivos (Mcconkey et al., 2003; Tan et al., 2004). O mecanismo que resulta na proteção coloidal decorre da associação entre os grupos funcionais da matéria orgânica com os colóides do solo (Caravaca et al., 2004). A proporção entre as frações granulométricas interfere no funcionamento do solo como reservatório e fluxo de água, e na

dinâmica de carbono e nutrientes (Giácomo et al., 2015).

A correlação negativa entre o carbono e a densidade de partículas (D_p) se explica pelo fato dos compostos orgânicos tipicamente exibirem baixa densidade, em torno de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$, sendo os baixos valores de D_p nas amostras estudadas decorrentes diretamente da maior proporção de material orgânico e, obviamente, da menor proporção dos sólidos minerais, cuja densidade é maior, em torno de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ (Alho, 2007; Ferreira, 2010). É interessante notar que, a despeito desse valor se aplicar tanto à areia, dominada pelo quartzo, quanto à fração argila, rica em caulinita, maiores teores das frações minerais mais finas levam, indiretamente, a uma menor D_p , devido à contribuição que têm à preservação da matéria orgânica.

Destaca-se que as correlações positivas entre o teor de carbono e os de fibras totais e esfregadas (FT e FE) se justificam pelo fato dessas fibras vegetais serem provavelmente a principal fonte da matéria orgânica (MO) presente nesses solos, que possivelmente se somaria a algum aporte externo de material orgânico de áreas adjacentes. Por outro lado, tanto a ausência de correlação do teor de C com o índice de pirofosfato (IP) quanto a correlação negativa com o índice VP (escala de Von Post) podem ser difíceis de explicar, pois ambos os índices são considerados indicadores do grau de decomposição do material orgânico e, portanto, poderiam ensejar uma correlação positiva com o C presente na amostra peneirada (TFSA) que, possivelmente, associa-se mais à MO humificada do que à MO particulada na forma de fibras.

Enquanto as correlações do teor de N com as demais variáveis repetem, fidedignamente, o que foi descrito acima para o teor de C, a relação C/N se correlacionou positivamente com fibras totais e fibras esfregadas, como também se verifica correlações negativas com a densidade de partículas, a areia e a VP (escala de Von Post). A correlação positiva se explica visto que tanto a relação C/N (importante indicador da decomposição da matéria orgânica do solo, proporcionando informações sobre o estado de humificação do material) como as fibras totais e esfregadas refletem o estado de degradação da matéria orgânica, ou seja, a natureza da matéria orgânica. Em contrapartida, observa-se uma relação inversa com o índice de Von Post, mesmo ele também sendo um indicador da decomposição do material orgânico, porém o mesmo representa mais fielmente o nível da degradação do material.

Ainda na Tabela 16, verifica-se que a acidez potencial e a CTC potencial se correlacionaram positivamente com os teores de silte e argila e negativamente com o de areia e com a densidade de partículas. Embora as relações entre o teor de C e os teores das frações granulométricas possam ser consequência da superfície específica ser maior quanto mais finas são as partículas minerais, essa causa direta é possivelmente menos relevante que a causa indireta, qual seja, o maior teor das frações minerais finas levam a uma maior preservação de MO (Mcconkey et al., 2003; Tan et al., 2004), cujos teores elevados favorecem o aumento dos valores de CTC potencial e acidez potencial no solo. Adicionalmente, a preponderância desse mecanismo indireto ajudaria a justificar a correlação negativa entre essas variáveis químicas e a densidade de partículas do solo.

Por fim, enquanto a soma dos teores dos cátions monovalentes (K + Na) não se correlacionou com as variáveis confrontadas, a soma dos teores dos cátions bivalentes (Ca + Mg) se correlacionou negativamente com FT (fibras totais) e FE (fibras esfregadas), a CTC efetiva com os índices VP (escala de Von Post) e IP (índice do pirofosfato) e o pH apenas com o IP. Embora as explicações para esses resultados possam não ser triviais, certamente passam pelos efeitos que os compostos orgânicos presentes têm sobre o pH, sobre a solubilização de compostos de Al e sobre a ionização na superfície dos colóides do solo de sítios de troca para os cátions (Prezotti et al., 2013).

Tabela 17. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre variáveis do índice R, ângulo de contato água-solo (ângulo), e as bandas 1, 2 e 3 no espectro de refletância no infravermelho (DRIFT), características de materiais orgânicos hidrofóbicos com as variáveis físicas e da decomposição do material orgânico, determinadas nas 21 amostras de solo das ilhas de vegetação estudadas do Morro do Itaoca, em Campos dos Goytacazes (RJ)

	D_p	Areia	Silte	Argila	FT	FE	VP	IP
TPGA	0,117	0,178	-0,173	-0,171	-0,216	-0,201	0,099	0,344
MGE	-0,132	-0,061	0,021	0,098	0,032	0,037	-0,075	0,526*
R	0,019	0,087	-0,101	-0,067	-0,143	-0,124	0,020	0,390
Ângulo	-0,080	-0,208	0,151	0,254	0,034	0,015	0,014	0,554**
Banda 1	-0,362	-0,430	0,379	0,455*	-0,020	0,136	0,020	-0,717**
Banda 2	0,102	-0,073	0,025	0,115	-0,279	-0,222	-0,149	-0,088
Banda 3	-0,385	-0,156	0,152	0,153	0,316	0,337	-0,263	-0,113

Obs.: Coeficientes de correlação linear de Pearson em negrito e seguidos de “**” e “***” são significativos, respectivamente, a $p < 5\%$ e $p < 1\%$ de probabilidade pelo teste t de Student (os demais não são significativos).

Em relação às correlações (Tabela 17), verifica-se que as banda 2 e 3 do

espectro no infravermelho não se correlacionaram a nenhuma das variáveis a que foram confrontadas. A banda 1, por outro lado, apresentou correlação positiva com a argila e se correlacionou negativamente com IP (índice do pirofosfato). Cabe destacar que na literatura pertinente verificou-se uma inconsistência sobre a relação entre a composição granulométrica e os compostos orgânicos que influenciam na repelência do solo a água. Enquanto no trabalho de Deban (1991) esse fenômeno foi comumente associado a solos com menos de 10% de argila, no de Dekker e Ritsema (1996) o fenômeno foi observado em solos contendo 25-40% de argila. Além disso, em seu trabalho sobre hidrofobicidade, Vogelmann et al. (2010) avaliaram dezessete classes de solos e não encontraram correlação entre esse fenômeno e a composição granulométrica, destacando, assim como outros trabalhos, o comportamento bastante variável do fenômeno da repelência à água do solo. Em relação a correlação inversa entre a banda 1 com IP, pode-se vislumbrar características de componentes hidrofóbicas, destacando que o IP tende a refletir a natureza da matéria orgânica.

A variável correspondente ao MGE (método da molaridade por etanol) se correlacionou com o IP (índice do pirofosfato), enquanto a variável ângulo de contato água-solo apresentou correlação também com o IP (índice do pirofosfato).

A partir das correlações apresentadas acima pode-se concluir que as correlações do MGE e do ângulo com o IP refletem mais genuinamente a natureza da matéria orgânica do solo, visto que o MGE aponta a presença de compostos hidrofóbicos no solo e o ângulo nos revela o grau de severidade à repelência a água do solo.

Tabela 18. Coeficientes de correlação linear de Pearson entre variáveis químicas com as variáveis do índice R, ângulo de contato água-solo (ângulo), e as bandas 1, 2 e 3 no espectro de refletância no infravermelho (DRIFT), características de materiais orgânicos hidrofóbicos, determinadas nas 21 amostras de solo das ilhas de vegetação estudadas do Morro do Itaoca, em Campos dos Goytacazes (RJ)

	TPGA	MGE	R	Ângulo	Banda 1	Banda 2	Banda 3
H+AL	-0,328	-0,244	-0,289	0,303	0,262	0,090	-0,158
Al	-0,276	-0,237	-0,258	0,264	-0,024	-0,035	-0,104
pH	0,133	0,276	0,179	0,095	-0,386	0,291	0,021
K+Na	-0,480*	-0,474*	-0,505*	-0,636**	-0,304	-0,032	0,006
Ca+Mg	0,371	0,202	0,338	-0,026	0,345	0,349	-0,049
CTCefet	-0,372	-0,487*	-0,411	-0,427	0,001	0,230	-0,113
CTCpot	-0,377	-0,330	-0,352	0,148	0,279	0,164	-0,175
C	-0,059	0,235	0,062	0,201	0,313	-0,091	0,415*
N	-0,173	0,075	-0,070	0,214	0,437	-0,053	0,256
C/N	0,294	0,515*	0,376	0,178	-0,123	-0,132	0,465*

Obs.: Coeficientes de correlação linear de Pearson em negrito e seguidos de “**” e “***” são significativos, respectivamente, a $p < 5\%$ e $p < 1\%$ de probabilidade pelo teste t de Student (os demais não são significativos).

Em relação às correlações da Tabela 18, constata que os cátions monovalentes potássio e sódio (K + Na) apresentaram correlação negativa com as variáveis do TPGA (tempo da penetração da gota de água), MGE (método da molaridade por etanol), índice R e ângulo.

Em relação à soma K + Na, destaca-se que esses cátions normalmente se encontram em quantidades inferiores aos teores dos cátions bivalentes cálcio e magnésio (Lepsch, 2011). Contudo, nos solos das ilhas de vegetação observa-se o contrário, havendo maiores valores desses cátions monovalentes nos sítios de troca. Além disso, observam-se as correlações negativas desses cátions com aos aspectos hidrofóbicos, o que possivelmente se deve ao material de origem desses solos.

A CTC efetiva se correlacionou negativamente com MGE (método da molaridade por etanol). O carbono apresentou correlação positiva com a banda 3 do espectro no infravermelho, enquanto que a relação C/N manifestou correlação positiva com o MGE (método da molaridade por etanol) e a banda 3 do espectro no infravermelho. Essas correlações apontam provavelmente que a resistência ao molhamento inicial de algumas amostras dos solos das ilhas de vegetação está relacionada à qualidade da matéria orgânica e não somente à quantidade da mesma.

Os valores e o aumento dos teores tanto de C e de MO no solo podem estar mais relacionados com a qualidade do material orgânico a ser degradado do que a quantidade de material produzido nos dois ambientes de estudo (Costa et al., 2009). Destaca-se que a matéria orgânica do solo é essencial nos solos arenosos, sobretudo pela sua capacidade de retenção de água e de suprimento de nutrientes.

4.5 Análise de componentes principais e distinção dos solos das ilhas de vegetação estudadas.

A análise de componentes principais (ACP), realizada a partir dos valores médios dos atributos do solo apresentados nos itens anteriores, permitiu que a variabilidade total entre as seis ilhas de vegetação fosse explicada pelos cinco

componentes principais. As contribuições individuais foram de 40,3% para o CP1, 20,3% para o CP2, 16,4% para o CP3, 14,9% para o CP4 e 8,3% para o CP5, destacando-se a importância da contribuição dos componentes CP1 e CP2, que explicaram 60,6% da variação dos dados (Loss et al., 2009; Kummer et al., 2010). Destaca-se, de acordo com Kraisen (1958), que as variáveis que apresentaram cargas fatoriais abaixo dos autovalores acima de 1 são aquelas que retêm pequena parte da variação total, significando que as demais variáveis não citadas contribuem em menor proporção para discriminação (Pragana et al., 2012).

Na Tabela 19 constam as cargas fatoriais de cada variável em cada um desses componentes principais. O CP1 teve como principais determinantes as variáveis relacionadas à natureza e à constituição física dos solos (a D_p , os teores das frações granulométricas areia, silte e argila e os teores de C e N, componentes da matéria orgânica). Ao CP2 se associaram certas variáveis químicas do solo, como a relação C/N, acidez ativa (Al) e potencial (H + Al) e a CTC potencial, além do teor de fibras vegetais (FT e FE), relacionadas à constituição dos solos, coincidindo com resultados verificados no trabalho de Freitas et al. (2011), no qual o segundo componente principal apresentou as variáveis de H + Al, Al, CTC, Fe, formando um grupo com características correlacionadas entre si e negativamente com pH. Desse modo, à medida que o pH diminui, conseqüentemente, a acidez aumenta, pois existe maior quantidade de H livre na solução do solo.

Ao CP3 também se associaram principalmente variáveis químicas, sendo essas o pH, o teor de cátions monovalentes (K + Na) e a CTC efetiva, além de atributos relacionados à matéria orgânica (ocorrência de ligações alifáticas hidrofóbicas “banda 3” e grau de decomposição do material orgânico pela escala “VP”). Quanto ao CP4, as variáveis com as maiores cargas foram as indicadoras de hidrofobicidade (índice R, ângulo de contato solo-água e ocorrência de deformações em ligações hidrofóbicas C-H aromáticos “banda 1”) e o grau de decomposição do material orgânico pela escala “IP”. Por fim, as variáveis associadas ao CP5 foram o teor de cátions divalentes (Ca + Mg) e a ocorrência de deformações hidrofóbicas dos grupos orgânicos CH₂ e CH₃ “banda 2”.

A diferenciação dos grupos foi significativa, pois as características pertencentes às variáveis de um mesmo grupo são semelhantes entre si e diferentes de outros agrupamentos (Valladares et al., 2008).

Em relação aos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) que, juntos, explicam 60,6% da variabilidade entre os solos das ilhas de vegetação rupestre, a Figura 12 apresenta dois diagramas, sendo um com a dispersão das ilhas nos quadrantes do gráfico (Figura 12a) e o outro com a imagem bidimensional dos vetores referentes aos atributos dos solos estudados (Figura 12b). As ilhas de vegetação 5 e 6 localizam-se no primeiro quadrante, associadas às variáveis teor de C, relação C/N e teor de fibras vegetais (FT e FE). A ilha 3 localiza-se no segundo quadrante, associadas ao teor de areia e aos índices R (hidrofobicidade) e IP (grau de decomposição do material orgânico). A ilha 1 está no terceiro quadrante, associada à D_p , e, por fim, as ilhas 2 e 6 estão no quarto quadrante, influenciadas pelo teores de argila, silte e N, pela acidez trocável (Al) e potencial (H + Al) e pela CTC potencial.

Tabela 19. Carga fatorial de cada variável em cada componente principal (CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5), obtidas na análise de componentes principais (ACP) com as variáveis do solo nas seis ilhas de vegetação rupícola do Morro do Itaoca, Campos dos Goytacazes, RJ

Variáveis da ACP	Componentes da variância				
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
D_p	-0,30	-0,16	0,05	0,04	-0,09
Areia	-0,31	0,11	0,05	-0,06	-0,15
Silte	0,31	-0,04	-0,12	0,03	0,16
Argila	0,29	-0,19	0,04	0,10	0,14
FT	0,24	0,29	0,00	0,00	-0,18
FE	0,26	0,27	0,02	-0,08	-0,05
VP	-0,20	-0,10	-0,34	-0,19	-0,07
IP	-0,11	0,20	-0,22	0,39	-0,01
C	0,30	0,14	0,00	0,10	0,07
N	0,32	-0,01	0,02	0,08	-0,07
C/N	0,16	0,34	-0,09	0,19	0,18
H+AL	0,22	-0,32	-0,06	0,15	0,04
Al	0,09	-0,37	0,17	0,22	-0,10
pH	-0,15	0,10	0,33	0,24	0,27
K+Na	0,05	0,21	0,41	-0,20	-0,05
Ca+Mg	-0,10	-0,16	-0,19	-0,08	0,57
CTCefet	0,10	-0,04	0,48	-0,05	-0,12
CTCpot	0,24	-0,29	0,03	0,12	0,03
Índice R	-0,13	0,27	-0,15	0,34	0,06
Âng. contato	-0,03	-0,12	-0,13	0,49	-0,15
Banda 1	0,13	-0,18	-0,25	-0,35	-0,10
Banda 2	-0,10	-0,01	0,24	-0,07	0,59
Banda 3	0,17	0,22	-0,27	-0,24	0,17

Obs.: Análise de componentes principais (ACP) com as variáveis densidade de partículas (D_p), dos teores de areia, silte, argila, fibras totais (FT) e fibras esgregadas (FE), da escala de decomposição de Von Post (VP) e do índice do pirofosfato de sódio (IP), acidez potencial (H+Al), acidez trocável (Al^{3+}), cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de cálcio e magnésio (Ca +Mg), potássio (K), sódio (Na), soma de potássio e sódio (K + Na), CTC efetiva, CTC potencial, carbono (C), nitrogênio (N), relação carbono, nitrogênio (C/N), índice R (R), ângulo de contato (ângulo), e as bandas 1, 2 e 3 características de materiais orgânicos hidrofóbicos. Destaca-se que os valores em negrito em uma dada coluna indicam que a variável está associada ao componente principal relativo àquela coluna.

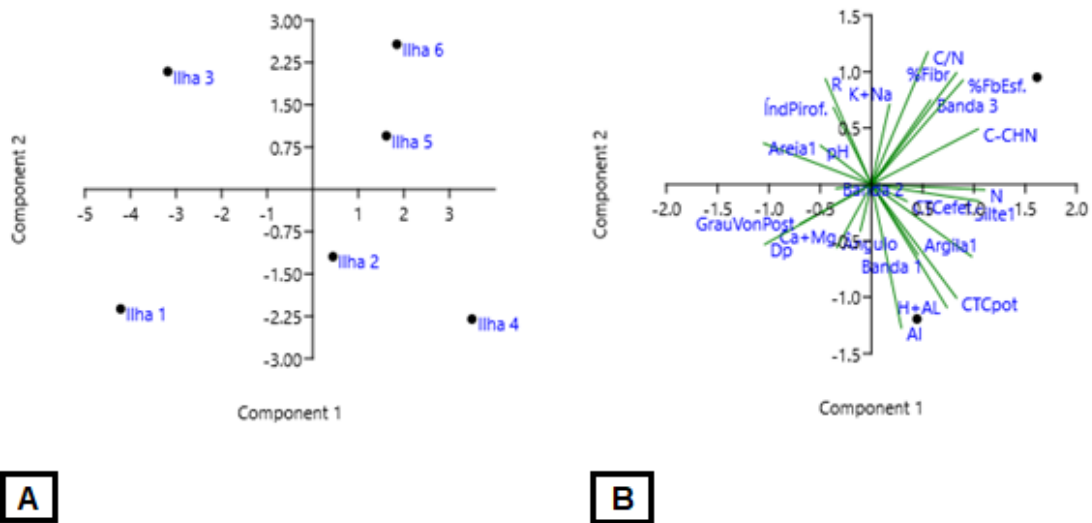


Figura 12: Apresenta dois diagramas, sendo um com a dispersão das ilhas nos quadrantes do gráfico (Figura 12a) e o outro com a imagem bidimensional dos vetores referentes aos atributos dos solos estudados (Figura 12b), portanto são diagramas da análise de componentes principais (matriz de correlação) a partir de atributos físicos, físicos hídricos, químicos e de natureza orgânica das seis ilhas de vegetação rupícola do Morro do Itaoca, Campos dos Gaytacazes, RJ. Component 1: Componente principal 1; Component 2: Componente principal 2.

Ressalte-se que ilhas de vegetação que no diagrama “5a” estão próximas podem estar consideravelmente afastadas em decorrência de atributos do solo cujas variâncias estejam mais relacionadas aos outros três componentes principais que, juntos, respondem por 39,4% da variabilidade total. Verifica-se, no diagrama “5b”, que vetores representativos de diversas variáveis apresentam pequeno comprimento, indicando que suas contribuições para variância não são detectados nesse diagrama bidimensional, pois apontam na direção dos demais componentes principais. Esse é o caso das variáveis indicadoras do grau de decomposição do material orgânico (índices VP e IP), dos atributos químicos pH, CTC efetiva e teor de cátions trocáveis monovalentes (K + Na) e divalentes (Ca + Mg), e também das variáveis indicadoras de ocorrência de hidrofobicidade, sendo essas o ângulo de contato água-solo, o índice R e a ocorrência de substâncias orgânicas hidrofóbicas identificadas pelo método DRIFT contendo ligações alifáticas (banda 3) e deformações em ligações C-H aromáticos (banda 1) e em grupos CH₂ e CH₃ (banda 2).

Na Figura 13 consta o dendrograma referente à análise de agrupamentos para as ilhas de vegetação estudadas, considerando os mesmos atributos do solo utilizados na PCA. Nesse diagrama, ilhas mais próximas são menos dissimilares e

ilhas mais distantes são mais dissimilares entre si. Observa-se, a partir de uma seta traçada horizontalmente na altura de 35, correspondente à metade da maior distância euclidiana média, a formação de quatro grupos, sendo o primeiro pela ilha 1, o segundo pelas ilhas 6 e 1, o terceiro pela ilha 3 e o quarto pelas ilhas 2 e 4. Enquanto pelo diagrama bidimensional definido pelos componentes principais CP1 e CP2 (Figura 12b), a Ilha 5 se apresentou próxima às ilhas 2 e 4, o dendrograma (Figura 13) revelou que foi entre esses dois grupos de ilhas que ocorreu a maior distância euclidiana média. Isso certamente ocorreu por influência de atributos do solo menos ligados aos componentes principais CP1 e CP2 e mais ligados ao CP3, CP4 ou CP5, responsáveis por 39,4% da variabilidade total, o que inclui as variáveis indicadoras do grau de decomposição do material orgânico (índices VP e IP), as indicadoras de hidrofobicidade (ângulo de contato, o índice R e substâncias orgânicas hidrofóbicas identificadas pelo DRIFT) e alguns atributos químicos (pH, CTC efetiva e teor de K + Na e de Ca + Mg). Por outro lado, as ilhas 1 e 6, que no diagrama bidimensional (Figura 5b) se mostravam distantes, no dendrograma se revelaram como parte do mesmo grupo, atestando que a contribuição das variáveis associadas ao CP3, CP4 e CP5 não pode ser negligenciada quando esses componentes principais adicionais respondem por parte expressiva da variabilidade dos dados.

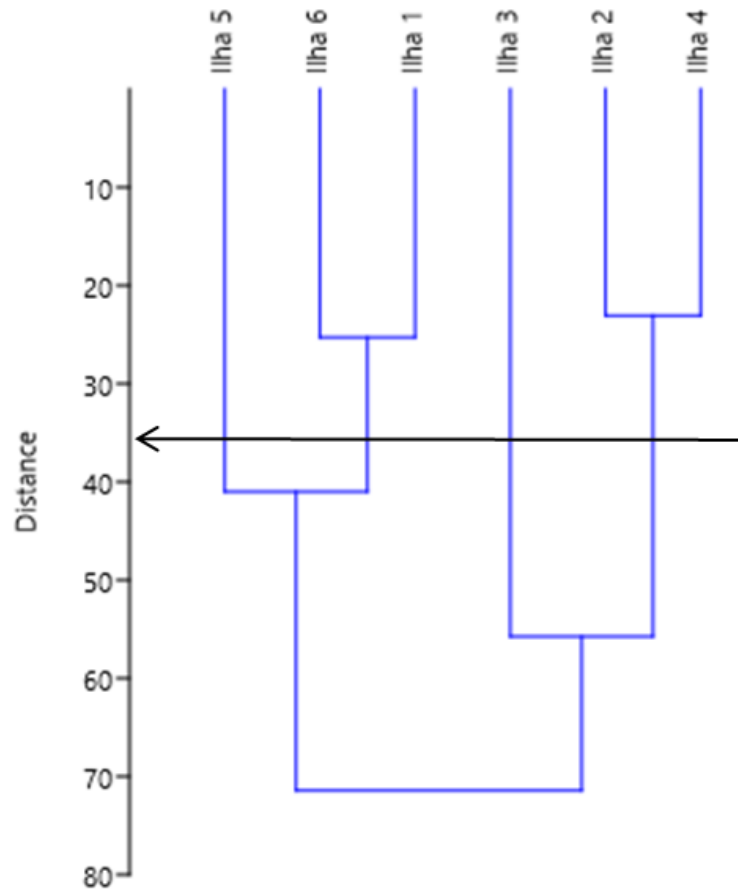


Figura 13: Dendrograma referente à análise de agrupamentos por distância euclidiana feita a partir de atributos físicos, químicos, de afinidade água-solo e da condição/natureza do material orgânico das seis ilhas de vegetação rupícola do Morro do Itaoca, Campos dos Gaytacazes, RJ.

5. CONCLUSÃO

Os solos das ilhas de vegetação rupícula possuem predominância de areia em sua composição. Esses altos teores de areia são condizentes com o ambiente, visto que esse tipo de resultado é bem evidenciado nas regiões de *inselberg* que possuem como predominância o intemperismo físico, levando ao pouco desenvolvimento dos seus solos, com o horizonte superficial estando em contanto direto com a rocha.

Quimicamente, esses solos são fortemente ácidos, apresentando elevados teores de matéria orgânica, provenientes das condições do meio e pelo acúmulo de material orgânico advindo da vegetação rupícola. Desse modo, esses solos apresentam teores elevados de acidez trocável e potencial e de capacidade de troca de cátions efetiva e potencial.

Destaca-se que os atributos físicos e químicos dos solos das ilhas de vegetação rupícula estudadas coincidem com os encontrados em outros trabalhos em solos associados com afloramentos rochosos.

A ocorrência do fenômeno de repelência a água foi ampla entre as amostras de solo estudadas, as quais apresentaram graus de hidrofobicidade desde não significativa até severo.

O índice de Von Post, inversamente relacionado ao teor de fibras totais e de fibras esfregadas, indica mais fidedignamente o grau de decomposição do material orgânico, enquanto o índice do Pirofosfato reflete mais a natureza da matéria orgânica, pois relacionou às variáveis TPGA e MGE, indicadoras clássicas da presença de compostos hidrofóbicos no solo.

Ademais, os compostos hidrofóbicos de origem orgânica nas amostras identificados qualitativamente a partir do DRIFT são associados aos graus diferenciados de repelência a água do solo das amostras.

Por fim, conclui-se que os solos das ilhas de vegetação apresentam grande variabilidade nos valores de seus atributos e que, embora a maior parte de sua variabilidade seja determinada por fatores físicos e químicos rotineiramente determinados, a obtenção de atributos menos usuais contribui para uma melhor distinção entre as ilhas de vegetação em função da diversificação dos aspectos considerados. Além do mais, a fragilidade da área estudada associada à falta de estudos mais detalhados sobre as características desses ecossistemas particulares, justificam esforços no sentido de se compreender as particularidades locais desses Nossolos Litólicos associados a afloramentos rochosos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Sáber, A.N. (2003). Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. 5 ed. Ateliê Editorial, São Paulo. 160 p.
- Alho, D.R., Marques Júnior, J., Campos, M.C.C. (2007). Caracterização física, química e mineralógica de Neossolos Litólicos de diferentes materiais de origem. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 2:117-122.
- Alvarez, V.V.H., Fontes, L.E.F., Fontes, M.P.F. (Ed.) (1996), O Solo nos grandes domínios morfopluviométricos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa: SBCS/UFV/DPS, p. 95-155
- Alves, M.G., Barroso, J.A., Ramos, I.S., Pacheco, L.A. (2003). Espacialização dos principais pontos para o desenvolvimento do turismo geológico-ecológico do município de Campos dos Goytacazes-RJ. *Anais do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Belo Horizonte: INPE. p. 537-541.
- Anderson, J.D., Ingram, J.S.I. (1996). *Tropical soil biology and fertility: A handbook of methods*. 2.ed. Wallingford, CAB International.
- Andrade, F.V., Mendonça, E.S., Alvarez V., V.H., Novais, R.F. (2003) Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:1003-1011.
- Anjos, J.T., Uberti, A.A.A., Vizzotto, V.J., Leite, G.B., Krieger, M. (1994). Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo.

- Revista Brasileira de Ciência do Solo, 18:139-145.
- Anjos, L.H.C., Pereira, M.G., Fontana, A. Matéria Orgânica e Pedogênese. (2008) In.: Santos, G.A., Silva, L.S. da, Canellas, L.P., Camargo, F.A.O. (Eds.) Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo: Ecossistemas Tropicais e Subtropicais. Porto Alegre: Metrópole, p. 65-86.
- Araújo Filho, J.C. de. (2011). Relação solo e paisagem no bioma caatinga. In. Simpósio Brasileiro de Geografia Física aplicada XIV. Dourados, MS. Anais Dourados.
- Araújo, A.S.F., Monteiro, R.T.R. (2007). Indicadores biológicos de qualidade do solo. *Jornal Bioscience*, 23:66-75.
- Araújo, M.S.B., Schaefer, C.E.G.R., Sampaio, E.V.S.B. (2004). Frações de fósforo após extrações sucessivas com resina e incubação, em Latossolos e Luvisolos do semi-árido de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:259-268.
- Arshad, M.A., Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 88:153-160.
- Bayer, C., Mielniczuk, J. (2008). Dinâmica e função da matéria orgânica. In: Santos, G.A., Silva, L.S., Canellas, L.P., Camargo, F.A.O. (Ed.). Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais, 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, p. 7-18.
- Bayer, J.V., Schaumann, G.E. (2007). Development of soil water repellency in the course of isothermal drying and upon pH changes in two urban soils. *Hydrological Processes*, Bristol, v. 21, n. 17, p. 2266–2275.
- Benites, V.M, Mendonça, E.S., Schaefer, C.E.G.R., Novotny, E.H., Reis, E.L., Ker, J.C. (2005) Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma* 127:104-113.
- Benites, V.D.M., Schaefer, C.E.G.R., Mendonça, E.D.S., Martin Neto, L. (2001). Caracterização da matéria orgânica e micromorfologia de solos sob campos de altitude no Parque Estadual da Serra do Brigadeiro (MG). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:661-674.
- Benites, V.M., Caiafa, A.N., Mendonça, E.S., Schaeffer, C.E.G.R., Ker, J.C. (2003). Solos e vegetação nos Complexos Rupestres de Altitude da Mantiqueira e do Espinhaço. *Revista Floresta e Ambiente*, 10:76-85.
- Benites, V.M., Mendonça, E.S., Schaefer, C.E.G.R, Novotny, E.H., Reis, E.L., Ker,

- J.C. (2005). Properties of black soil humic acids from high altitude rocky complexes in Brazil. *Geoderma* 127:104-113.
- Benites, V.M., Schaefer, C.E.G.R., Simas, F.N.B., Santos, H.G. (2007). Soils associated with rock outcrops in the Brazilian mountain ranges Mantiqueira and Espinhaço. *Revista Brasileira de Botânica*, 30: 569-577.
- Berthomieu, C., Rainer, H. (2009). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Photosynthesis Research* 101:157–70.
- Bertonl, J., Lombardi Neto, F. (1990). *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone.
- Bigarella, J.J., Becker, R.D., Santos, G.F., Passos, E., Suguio, K. (1994). *Estrutura e origem das paisagens Tropicais e subtropicais*. Florianópolis: Ed. UFSC.
- Bisdorn, E., Dekker, L. W., Schoute, J. (1993). Water repellency of sieve fractions from sandy soils and relationships with organic material and soil structure, *Geoderma*, 56:105–118.
- Bremer, H., Sander, H. (2000). Inselbergs: Geomorphology and geoecology. In: Porembski, S., Barthlott, W. (Eds.). *Inselbergs biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Ecological Studies. Springer-Verlag, Berlin, 146:7-35.
- Buczko, U., Bens, O., Hüttl, R.F. (2005). Variability of soil water repellency in sandy forest soils with different stand structure under scots pine (*Pinus sylvestris*) and beech (*Fagus sylvatica*). *Geoderma*, 126:317-336.
- Calderón, F.J., Reeves, J.B., Collins, H., Paul, E. (2011). Chemical Differences in Soil Organic Matter Fractions Determined by Diffuse-Reflectance Mid-Infrared Spectroscopy. *Soil Biology e Biochemistry*, 75:568-579.
- Calderón, F.J, Haddix, M., Conant, R., Magrini-Bair, K., Paul, E. (2013). Diffuserefectance Fourier-transform mid-infrared spectroscopy as a method of characterizing changes in soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*. 77: 1591-1600.
- Camargo, F.A.C., Gianello, C., Tedesco, M.J., Vidor, C. (1999). Nitrogênio orgânico do solo. In: Santos, G.A., Camargo, F.A.O., eds. *Fundamentos da matéria orgânica do solo*. Porto Alegre, Genesis, p.117-137.
- Canellas, L.P., Baldotto, M.A., Busato, J.G., Marciano, C.R., Menezes, S.C., Silva, N.M. da ., Rumjanek, V.M., Velloso, A.C.X., Simões, M.L., Martin-Neto, L. (2007). Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com

- cana-de-açúcar por longo tempo. *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 31:331–340.
- Capriel, P. (1997). Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management. *European Journal of Soil Science*, 48:457-462.
- Capriel, P., Beck, T., Borchert, H., Gronholz, J., Zachmann, G. (1995). Hydrophobicity of the organic matter in arable soils. *Soil Biology and Biochemistry*, v:1453-1458.
- Caravaca, F., Lax, A., Albaladejo, J. (2004). Aggregate stability and carbon characteristics of particle-size fractions in cultivated and forested soils of semiarid Spain. *Soil and Tillage Research*, 78:83-90.
- Carmo, M.R.B.D. (2006). Caracterização fitofisionômica do Parque Estadual do Guartelá, município de Tibagi, estado do Paraná. Doutorado em Ciências Biológicas - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, 142p.
- Carmo, V.A., Oliveira, C.V., Cardoso, M.I. (2006). Levantamento Pedológico e relação classes de solo e uso, na Comunidade da Galiléia–Município de Caparaó-MG.
- Carvalho, A., Silva, L., Dick, D., Moreira, V., Vicente, M., De Andrade, A., Bidone, E., Sabadini-Santos, E. (2020). Análise espectroscópica da matéria orgânica no sedimento superficial da baía de Sepetiba. *Química Nova*, 43:552-557.
- Carvalho, R., Goedert, W., Armando, M.S. (2004). Atributos físicos da qualidade de um solo sob sistema agroflorestal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:1153-1155.
- Collares, G.L., Reinert, D.J., Reichert, J.M., Kaiser, D.R. (2006). Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41:1663-1674.
- Conceição, A.A., Giulietti, A.M., Meirelles, S.T. (2007). Ilhas de vegetação em afloramentos de quartzito-arenito no Morro do Pai Inácio, Chapada Diamantina, Bahia, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 21:335–347.
- Conceição, A.A., Pirani, J.R., Meireles, S.T. (2007). Floristics, structure and soil of insular vegetation in four quartzite-sandstone outcrops of “Chapada Diamantina”, Northeast Brazil. *Revista Brasileira Botânica*, 30:641–656.
- Conte, P., Spaccini, R., Piccolo, A. (2004). State of the art of CPMAS ¹³C-NMR spectroscopy applied to natural organic matter. *Progress in Nuclear Magnetic*

- Resonance Spectroscopy, 44: 215–223.
- Costa, A.M., Borges, E.N., Silva, A.A., Nolla, A., Guimarães, E.C. (2009). Potencial de recuperação física de um Latossolo Vermelho, sob pastagem degradada, influenciado pela aplicação de cama de frango. *Ciência e Agrotecnologia*, 33:1991-1998.
- Costa, F.S., Albuquerque, J.A., Bayer, C., Fontoura, S.M.V., Wobeto, C. (2003). Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27:527-535.
- Couto, D.R., Dan, M.L., Aguiar, W.M., Braga, J.M.A., Nascimento, M.T. (2021). Floristic composition, structure and species-area relationships on a neotropical inselberg in southeastern Brazil. *Rodriguésia*, 72: e00872020.
- Crockford, H., Topalidis, S., Richardson, D.P. (1991). Water repellency in a dry sclerophyll eucalypt forest: measurements and processes. *Hydrological Processes*, 5:405-420.
- Cunha, T.J., Madari, F.B.E., Canellas, L.P., Ribeiro, L.P., Benites, V.M., Santos, G.A. (2009), Soil organic matter and fertility of Anthropogenic Dark Earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:85-93.
- Curi, N., Larach, J.O.I., Kämpf, N., Moniz, A.C., Fontes, L.E.F. (1993). Vocabulário da ciência do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 90 p.
- D'Andréa, A.F., Silva, M.L.N., Curi, N., Guilherme, L.R.G. (2004), Estoques de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39:179-186.
- Dantas, M.E., Shinzato, E., Medina, A.I.M., Silva, C.R., Pimentel, J., Lumbreras, J.F., Calderano, S.B., Carvalho Filho, A., Oliveira, R.P., Mansur, K., Ferreira, C.E.O. (2000). Projeto Rio de Janeiro: Mapa Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil.
- De Paula, L.F.A., Azevedo, L.O., Mauad, L.P., Cardoso, L.J.T., Braga, J.M.A., Kollmann, L.J.C., Fraga, C.N., Menini Neto, L., Labiak, P.H., Mello-Silva, R., Porembski, S., Forzza, R.C. (2020), Sugarloaf Land in south-eastern Brazil: a tropical hotspot of lowland inselberg plant diversity. *Biodiversity Data Journal*.
- Debano L.F. (1992). The effect of fire to soil properties. In USDA Forest Service General Technical Report, p.151–156.

- Debano L.F. (2000). Water repellency in soils: a historical overview. *Journal of Hydrology*, 231:4–32.
- Debano, L.F. (1991). The effects of fire on soil properties United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report, p. 151-156.
- Dekker, G.W., Pechenizkiy, M., Vleeshouwers, J.M. (2009). Predicting students drop out: a case study. A case study. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Educational Data Mining, EDM 2009*. Cordoba, Spain. 41–50.
- Dekker, L.W., Jungerius, P. (1990), Water repellency in the dunes with special reference to the Netherlands. *Catena Supplement*, 18:173-183.
- Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1994). How water moves in a water repellent sandy soil: 1. Potential and actual water repellency. *Water Resources Research*, 30:2507-2517.
- Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (1996). Variation in water content and wetting patterns in Dutch water repellent peaty clay and clayey peat soils. *Catena*, 28:89-105.
- Dias, H.C.T., Fernandes-Filho, E.I., Schaefer, C. E.G.R., Fontes, L.E.F./ Ventorim, L.B. (2002). Geoambientes do Parque Estadual do Ibitipoca, município de Lima Duarte-MG. *Revista Árvore*, 26:777-786.
- Dias, H.C.T., Schaefer, C.E.G.R., Fernandes Filho, E. I., Oliveira, A.P., Michel, R.F.M., Lemos Jr., J.B. (2003), Caracterização de solos altimontanos em dois transectos no Parque Estadual do Ibitipoca (MG). *Revista Brasileira De Ciência Do Solo*, 27:469–481.
- Doerr, S. H., Cerdà, A. (2005). Fire effects on soil system functioning: new insights and future challenges. *International Journal of Wildland Fire*, 14:39-342.
- Doerr, S. H., Ritsema, C.J., Dekker, L.W., Scott, D.F., Carter, D. (2007). Water repellence of soils: new insights and emerging research needs. *Hydrological Processes*, 21:2223-2228.
- Doerr, S.H. (1998). On standardizing the ‘Water Drop Penetration Time’ and the ‘Molarity of an Ethanol Droplet’ techniques to classify soil hydrophobicity: a case study using medium textured soils. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23:663–668.
- Doerr, S.H., Shakesby, R.A., Walsh, R.P.D. (2000). Soil water repellency: its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth-Science Reviews*, 51:33– 65.

- Doerr, S.H, Shakesby, R.A., Dekker, L.W., Ritsema, C.J. (2006). Occurrence, prediction and hydrological effects of water repellency amongst major soil and land-use types in a humid temperate climate. *European Journal of Soil Science*, 57, p. 741–754.
- Duval, M.E., Galantini, J.A., Martínez, J.M., Limbozzi, F. (2018). Labile soil organic carbon for assessing soil quality: influence of management practices and edaphic conditions, *Catena*, 171:316-326.
- Ebeling, A.G., Anjos, L.H.C., Pérez, D.V., Pereira, M.G., Novotny, E.H. (2013). Atributos físicos e matéria orgânica de organossolos háplicos em distintos ambientes no Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 37:763-774.
- Ebeling, A.G., Anjos, L.H.C.D., Perez, D.V., Pereira, M.G., Valladares, G.S. (2008). Relação entre acidez e outros atributos químicos em solos com teores elevados de matéria orgânica. *Bragantia*, 67:429-439.
- Egli, M, Mavris, C, Mirabella, A, Giaccai, D. (2010). Soil organic matter formation along a chronosequence in the Morteratsch proglacial area (Upper Engadine, Switzerland). *Catena*, 82:61- 69.
- Ellerbrock, R. H., Kaiser, M. (2005). Stability and composition of different soluble soil organic matter fractions—evidence from $\delta^{13}\text{C}$ and FTIR signatures. *Geoderma*, 128:28-37.
- Ellerbrock, R.H., Gerke, H.H., Bachmann, J., Goebel, M.O. (2005). Composition of organic matter fractions for explaining wettability of three forest soils. *Soil Science Society of America Journal*, 69:57-66.
- Ellerbrock, R.H., Gerke, H.H., Böhm, C. (2009). In Situ DRIFT Characterization of Organic Matter Composition on Soil Structural Surfaces. *Soil Science Society of America Journal*, 73: 531-540.
- Ellerbrock, R.H., Höhn, A., Gerke, H.H. (1999). Characterization of soil organic matter from a sandy soil in relation to management practice using FT-IR spectroscopy. *Plant and Soil*. 213: 55-61.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (2013), Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. rev. ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 353p.
- EMBRAPA - Empresa brasileira de pesquisa agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (2006) Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, 306p.

- EMBRAPA. - Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1999). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Produção de Informação, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p.
- Essington, M. E. (2005), Soil and water chemistry: a interactive approach. 1. ed. New York: Taylor e Francis.
- Fabricante, J.R., Andrade, L.A., Marques, J.M. (2010). Caracterização populacional de *Melocactus zehntneri* (Britton e Rose) Luetzelburg (Cactaceae) ocorrente em um Inselbergue da Caatinga paraibana. *Biotemas* 23: 61-67.
- Feeney, D.S, Hallett, P.D., Rodger, S., Bengough, A.G., White, N.A., Young, I.M. (2006). Impact of fungal and bacterial biocides on microbial induced water repellency in arable soil. *Geoderma*, 135,:2-80.
- Ferraz, R.P.D., Donagemma, G.K., Rossi, C.Q., Polidoro, J.C. (2008). Fundamentos de morfologia, pedologia, física e química do solo de interesse no processo de recuperação de área degradada. In: Tavares, Sílvio Roberto de Lucena. Curso de recuperação de áreas degradadas: a visão da Ciência do Solo no contexto do diagnóstico, manejo, indicadores de monitoramento e estratégias de recuperação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. p.9-62.
- Ferreira J., Aragão L.E.O.C., Barlow J., Barreto, P., Berenguer, E., Bustamante, M., Gardner, T.A., Less, A.C., Lima, A., Louzada, J., Pardini, R., Parry, L., Peres, C.A., Pompeu, P.S., Tabarelli, M., Zuanon, J. (2014). Brazil's environmental leadership at risk. *Science*, 346: 706-707.
- Ferreira, A.D., Coelho, C., Silva, J.S., Esteves, T.C.J.. (2010). Efeitos do fogo no solo e no regime hídrico. In: Moreira, F., Catry, F.X., Silva, J.S., Rego, F.. *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas*. Lisboa: ISA press.
- Filep, T., Zacháry, D., Balog, K. (2016). Assessment of soil quality of arable soils in Hungary using DRIFT spectroscopy and chemometrics. *Vibrational Spectroscopy*, 84:16-23.
- Fontes, M.P.F. (2012). Intemperismo de rochas e minerais. In: Ker, J.C., Shaefer, C.E.G.R, Vidaltorradó, P. *Pedologia: fundamentos*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 171-205.
- Fontes, M.P.F. (Ed.) (1996) *O Solo nos grandes domínios morfopluviométricos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa: SBCS/UFV/DPS.
- Forato, L.A., Bernardes Filho, R., Osiro, D., Bicudo, T. De C., Colnago, L.A.

- (2010). A Espectroscopia na região do infravermelho e algumas aplicações. Embrapa Instrumentação Agropecuária.
- Franco, C.M.M, Clarke, P. J., Tate, M.E., Oades, J.M. Hydrophobic properties and chemical characterisation of natural water repellent materials in Australian sands. *Journal of Hydrology*, 231:47-58.
- Franco, M., Úbeda, X., Pereira, P., Alcañiz, M. (2018). Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities. A case study in Cadiretes Massif (NE Iberian Peninsula). *Science Total Environ*, 615: 664-671.
- Freitas, L., Casagrande, J.C., Desuó, I.C. (2011). Atributos físicos e químicos de solo cultivado com cana-de-açúcar próximo a fragmento nativo. *Holos Environment*, 11: 137-146.
- Gao, Y., Lin, Qimei, Liu, Honglin, Wu, Hongxin, Alamus. (2018). Water repellency as conditioned by physical and chemical parameters in grassland soil. *Catena*, 160:310–320.
- Gerke, H.H., Hangen, E., Schaaf, W., Hüttl, R.F. (2001). Spatial variability of potential water repellency in a lignitic mine soil afforested with *Pinus nigra*. *Geoderma*, 102:255-274.
- Gerke, H.H., Kohne, J.M. (2002). Estimating hydraulic properties of soil skins from sorptivity and water retention. *Soil Science Society of America Journal*, 66:26-36.
- Ghidin, A.A., Melo, V.F., Lima, V.C., Lima, J.M.J.C.T (2006). Opossequência de Latossolos originados de rochas basálticas no Paraná. I- Mineralogia da fração argila. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:293-306.
- Giácomo, R.G., Pereira, M.G., Guareschi, R.F., Machado, D.L. (2015). Atributos químicos e físicos do solo, estoques de carbono e nitrogênio e frações húmicas em diferentes formações vegetais. *Ciência Florestal*, 25:617–631.
- Giarola, N.F.B., Silva, A.P., Imhoff, S. (2002). Relações entre propriedades físicas e características de solos da região Sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:885-893.
- Gigliotti, G., Kaiser, K., Guggenberger, G., Haumaier, L. (2002). Differences in the chemical composition of dissolved organic matter from waste materials of different sources. *Biology and Fertility of Soils*, 36:321–329.
- Gomes, M.A.F., Filizola, H.F. (2006). Indicadores físicos e químicos de qualidade de solo de interesse agrícola. *Embrapa Meio Ambiente*, 6:1-8.

- Gottwald, W., Wachter, G. (1997). IR spectroscopy for users.
- Granged, A.J., Zavala, L.M., Jordán, A., Bárcenas-Moreno, G. (2011). Post-fire evolution of soil properties and vegetation cover in a Mediterranean heathland after experimental burning: A 3-year study. *Geoderma*, 164:85-94.
- Granged, A.J.P., Jordán, A., Zavala, L., Muñoz-Rojas, M., Mataix-Solera, J. (2011). Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia). *Geoderma*, 167-168:125-134.
- Gryze, S., Jassogne, L., Bossuyt, H., Six, J., Merckx, R. (2006). Water repellence and soil aggregate dynamics in a loamy grassland soil as affected by texture. *European Journal of Soil Science*, 57:235-246.
- Guggenberger, G., Thomas, R.J., Zech, W. (1996). Soil organic matter within earthworm casts of an anecic-endogeic tropical pasture community, Colombia. *Applied Soil Ecology*, 3:263-274.
- Guimaraes, R.M.L., Gonçalves, A.C.A., Tormena, C.A., Folegatti, M.V., Blainski, E. (2010) Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas de um Nitossolo sob a cultura do feijoeiro irrigado. *Engenharia Agrícola*, 30:657-669.
- Guo, Y., Bustin, R.M. (1997). Micro-FTIR spectroscopy of liptinite macerals in coal. *International Journal of Coal Geology* 36:259-275.
- Hallett, P. D., White, N. A., Ritz, K. (2006). Impact of basidiomycete fungi on the wettability of soil contaminated with a hydrophobic polycyclic aromatic hydrocarbon. *Biologia*, 61:334-338.
- Hallett, P.D. (2008). A brief overview of the causes, impacts and amelioration of soil water repellency - a Review. *Soil & Water Research, Slezská*, v. 3, n. 1, p. 21-29.
- Hallett, P.D., Baumgartl, T., Young, I.M. (2001). Subcritical water repellency of aggregates from a range of soil management practices. *Soil Science Society of America Journal*, 65:184-190.
- Hallett, P.D., Gordon, D.C., Bengough, A.G. (2003). Plant influence on rhizosphere hydraulic properties: direct measurements using a miniaturized infiltrometer. *New Phytologist*, 157:597-603.
- Hallett, P.D., Young, I.M. (1999), Changes to water repellence of soil aggregates caused by substrate-induced microbial activity. *European Journal of Soil Science* 50:35-40.
- Hallett, R.B., Kyle, P.R. (1993). XRF and INAA determinations of major and trace

- elements in geological survey of Japan igneous and sedimentary rock standards. *Geostandards Newsletter*, 17:127-133.
- Hansel, F.A., Aoki, C.T., Maia, C.M.B.F., Cunha Júnior, A., Dedecek, R.A. (2008). Comparison of two alkaline treatments in the extraction of organic compounds associated with water repellency in soil under *Pinus taeda*. *Geoderma*, 148:167-172.
- Harper, R.J., Gilkes, R.J. (1994). Soil attributes related to water repellency and the utility of soil survey for predicting its occurrence. *Australian Journal Soil Research*, 32:1109–1124.
- Hesse, M., Meier, H., Zeeh, B. (1984). Spectroscopic methods in organic chemistry. In German: *Spektroskopische Methoden in der organischen Chemie*. Georg Thieme, Stuttgart.
- Hopper, S.D., Silveira, F.A.O., Fiedler, P.L. (2016) Biodiversity hotspots and Ocbil theory. *Plant and Soil*, 403:167–216.
- Iovino, M., Pekárová, P., Hallett, P.D., Pekár, J., Lichner, L., Mataix-Solera, J., Alagna, V., Walsh, R., Raffan, A., Schacht, K., Rodný, M. (2018). Extent and persistence of soil water repellency induced by pines in different geographic regions. *Journal Hydrology Hydromech.*, 66:360–368.
- IUSS Working Group WRB. (2022). World reference base for soil resources. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 4.ed. Viena, International Union of Soil Sciences (IUSS).
- IUSS Working Group WRB. (1997). World Reference Base for Soil Resources, World Soil Resources Reports, FAO.
- Jackson M.L. (1964). Clay transformaon in soil genesis during the quaternary. *Soil Science*, 99:15-22.
- Jackson, M.L. (1975). *Soil chemical analysis: advanced course*. 2. ed. Madison, 895p.
- Jacomine, P.K.T. (1996). Solos sob caatingas – Características e usos agrícolas. In: Alvares, V.H., Fontes, L.E.F., Fonte S, M.P.F., eds. *O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado*. Viçosa, MG, SBCS/UFV/DPS, p.95-111.
- Jacomine, P.K.T. (2001). Evolução do conhecimento sobre solos coesos no Brasil. In: *Workshop coesão em solos dos tabuleiros costeiros*, Aracaju, Anais. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, p. 19-46.

- Jaramillo, J.D.F. (2004). Repelencia al agua en suelos: con énfasis en Andisoles de Antioquia. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Jaramillo, J.D.F. (2006). Repelencia al agua en suelos: una síntesis. *Revista Acadêmica Colombiana de Ciência*. 30: 215-232.
- Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation: A system of quantitative*. New York, McGraw-Hill, 271p.
- Kaiser, M., Ellerbrock, R.H. (2005). Functional characterization of soil organic matter fractions different in solubility originating from a long-term field experiment. *Geoderma*, 127:196-206.
- Kämpf, N., Curi, N., Marques, J.J. (2009). Intemperismo e Ocorrência de Minerais no Ambiente do Solo. In: Melo, V.F., Alleoni, L.R.F. (Eds.). *Química e Mineralogia do Solo: Parte I Conceitos Básicos*. Viçosa, MG: SBCS, p. 333-379.
- Karlen, D.L., Ditzler, C.A., Andrews, S.S. (2003). Soil quality: Why and how? *Geoderma*, 114:145-156.
- Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E. (1997). Soil Quality: A Concept, Definition, and Framework for Evaluation. *Soil Science Society of America Journal*, 61:4-10.
- Kemper, W.D. e Chepil, W.S. (1965). Size distribution of aggregates. In: Black, C.A., Evans, D.D., White, J.L., Ensminger, L.E. e Clark, F.E. (Eds). *Methods of soil analysis - Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling*. Madison, American Society of Agronomy.
- King, P.M. (1981). Comparison of methods for measuring severity of water repellence of sandy soils and assessment of some factors that affect its measurement. *Australian Journal of Soil Research*, 19:75–285.
- Klar, A.E. (1984). *A água no sistema solo-planta-atmosfera*. São Paulo, Nobel.
- Kluge, M. e Ting, I.P. (1978). *Crassulacean acid metabolism: Analysis of an ecological adaptation*. Berlin, Springer-Verlag.
- Kogel-Knabner, Ingrid. (1997). ¹³C and ¹⁵N NMR spectroscopy as a tool in soil organic matter studies. *Geoderma*, 80:243-270.
- Korndorfer, G.H. (2006). Elementos benéficos. In: Fernandes, M. S. (Ed.) *Nutrição mineral de plantas*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.355-374
- Kummer, L., Melo, V.F., Barros, Y.J., Azevedo, J.C.R. (2010). Uso da análise de

- componentes principais para agrupamento de amostras de solos com base na granulometria e em características químicas e mineralógicas. *Scientia Agraria*, 11:469-480.
- Lamont, B.B. e Lamont, H.C. (2000). Utilizable water in leaves of 8 arid species as derived from pressure-volume curves and chlorophyll fluorescence. *Physiologia Plantarum*, 110:64-71.
- Larson, W.E., Pierce, F.J. (1994). The dynamics of soil quality as a measure of sustainable management. In: Doran, J.W., Coleman, D.C., Bezdicek, D.F., Stewart, B.A. (Eds.) *Defning soil quality for a sustainable environment*. Soil Science Society of America, p.37-51. (Special Publication, 35)
- Laskar, S.Y., Sileshi, G.W., Pathak, K., Debnath, N., Nath, A.J., Laskar, K.Y., Singnar, P., Das, A.K. (2021). Variations in soil organic carbon content with chronosequence, soil depth and aggregate size under shifting cultivation. *Science of The Total Environment*, 762:143-154.
- Leeds-Harrison, P. B., Youngs, E. G., Uddin, B. (1994). A device for determining the sorptivity of soil aggregates. *European Journal of Soil Science*, 45: 269-272.
- Leeds-Harrison, P.B., Youngs, E.G., Uddin, B. (1997). A device of spatial variability in water transport at small scales for determining the sorptivity of soil aggregates. *European Journal Soil Science*, 45:269–272.
- Leite. L.F.C., Araújo, A.S. (2007). *Ecologia microbiana do solo*. Teresina: Embrapa Meio-Norte.
- Lellamanei, D.A.L., Karube, J., Yoshida, A. (2010). Clay effects on the contact angle and water droplet penetration time of model soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 56:371–375.
- Lepsch, I.F. (2002). *Formação e conservação dos solos*. São Paulo, Oficina de textos, p. 178.
- Letey, J. (1969). Measurement of contact angle, water drop penetration time, and critical surface tensions. *Proc. Symp. Water Rep. Soils, Univ. Calif., Riverside*.
- Letey, J., Osborn, J., Pelishek, R. (1962). Measurement of liquid-solid contact angles in soil and sand. *Soil Science*, 93:149-153.
- Leue, M., Ellerbrock, R.H., Gerke, H.H. (2010). DRIFT mapping of organic matter composition at intact soil aggregate surfaces. *Vadose Zone Journal*, 9: 317-324.
- Libardi, P.L. (2005). *Dinâmica da água no solo*. São Paulo: EDUSP, 335p.

- Lima, H.N. (2001) Gênese, química, mineralogia e micromorfologia de solos da Amazônia Ocidental. (Tese de Doutorado). Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. 176p.
- Lima, J.G.C., Bittar, S.M.B., Ribeiro, M.R., Barreto, B.S. (2007). Evolução mineralógica de dois solos de referência do Estado de Pernambuco. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 7:71-83.
- Lopes-Silva, R.F., Rodrigues, J.S., Gomes-Silva, F., Lucena, D.S., Lucena, M.F. A. (2019). Composição florística de um inselberg no semiárido paraibano, Nordeste Brasileiro. *Rodriguésia*, 70:e02812017.
- Loss, A., Pereira, M.G., Schultz, N., Anjos, L.H.C., Silva, E.M.R. (2009). Atributos químicos e físicos de um Argissolo Vermelho- Amarelo em sistema integrado de produção agroecológica. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44:68-75.
- Lynn, W.C., McKinzie, W.E., Grossman, R.B. (1974). Field laboratory tests for characterization of Histosols. *Histosols: their characteristics, classification, and use*, 6:11-20.
- Madhavan, D.B., Baldock, J.A., Read, Z.J., Murphy, S.C., Cunningham, S.C., Perring, M.P., Paul, K.I. (2017). Rapid prediction of particulate, humus and resistant fractions of soil organic carbon in reforested lands using infrared spectroscopy. *Journal of environmental management*, 193:290-299.
- Madsen, M.D., Zvirzdin, D.L., Petersen, S.L, Hopkins, B.G., Roundy, B.A., Chandler, D.G. (2011). Soil Water Repellency within a Burned Pinon-Juniper Woodland: Spatial Distribution, Severity, and Ecohydrologic Implications. *Soil Science Society of America Journal*, 75:1543-1553.
- Mao, J., Nierop, K.G.J., Rietkerk, M., Sinninghe Damsté, J.S., Dekker, S.C. (2016). The influence of vegetation on soil water repellency-markers and soil hydrophobicity. *Science of the Total Environment*, 566–567:608–620.
- Mao, J., Nierop, K.G.J., Sinninghe Damsté, J.S., Dekker, S.C. (2014). Roots induce stronger soil water repellency than leaf waxes. *Geoderma*, 232–234:328–340.
- Martinazzo, R. (2006). Diagnóstico da fertilidade de solos em áreas sob plantio direto consolidado. Mestrado em Ciência do Solo - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 84p.
- Martinelli, G. (2007). Mountain biodiversity in Brazil. *Revista Brasileira de Botânica*, 30:587-597. doi: 10.1590/S0100- 84042007000400005

- Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., Guerrero, C., Mayoral, A.M., Morales, J., González, J., García-Orenes, F., Gómez, I. (2007). Water repellency under different plant species in a calcareous forest soil in a semiarid Mediterranean environment. *Hydrological Processes*, 21:2300-2309.
- Mcconkey, B.G., Liang, B.C., Campbell, C.A., Curtin, D., MouliN, A., Brandt, S.A., Lafond, G.P. (2003). Crop rotation and tillage impact on carbon sequestration in Canadian prairie soils. *Soil and Tillage Research*, 74:81-90.
- Meguro, M., Pirani, J.R., Giuliatti, A.M., Mello-Silva, R. (1994). Phytophysiognomy and composition of the vegetation of Serra do Ambrósio, Minas Gerais, Brazil. *Revista Brasil de Botânica*, 17:149–166.
- Mello, J.W.V., Perez, D.V. (2009). Equilíbrio químico das reações no solo. In: Alleoni, L. R. F. e Melo, V. de F. (Ed.). *Química e Mineralogia do Solo: Parte I - Conceitos básicos*. Viçosa: SBCS.
- Mendelovici, E., Villalba, R., Sagarzazu, A., Carias, O. (1995). The 1640 cm^{-1} infrared band, monitor for the gain and thermal stability of water produced in ground kaolinites. *Clay Minerals*, 30:307–313.
- Mendes, F.G., Melloni, E.G.P., Melloni, R. (2006). Aplicação de atributos físicos do solo no estudo da qualidade de áreas impactadas, em Itajubá/MG. *Cerne*, 12: 211-220.
- Mendonça, J.F.B. (2006). Solo: substrato da vida. EMBRAPA, Recursos Genéticos e Biotecnologia. Brasília. Disponível em: <http://www2.uefs.br/geotropicos/solo_substrato_da_vida_22917.pdf>. Acesso em 28 dezembro 2021.
- Mesquita, M.G.B.F, Moraes, S.O. (2004), A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, 34:963-969.
- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A., Kozovits, A.R., Tavares, R. (2013). Soil-vegetation relationship in quartzitic and ferruginous Brazilian rocky outcrops. *Folia Geobotanica*, 48:509-521. doi: 10.1007/ s12224-013-9154-4
- Messias, M.C.T.B., Leite, M.G.P., Meira-Neto, J.A.A., Kozovits, A.R. (2011). Formas de vida em campos rupestres sobre quartzito e itabirito, em Minas Gerais, Brasil. *Biota Neotropica*, 11:255-268. doi: 10.1590/S1676-06032011000200026.
- Michel, J.C., Riviere, L.M., Bellon-Fontaine, M.N. (2001). Measurement of the wettability of organic materials in relation to water content by the capillary rise

- method. *European journal of soil science*, 52:459-467.
- Miranda, C. do C., Canellas, L.P., Trindade Nascimento, M. (2007), Caracterização da matéria orgânica do solo em fragmentos de Mata Atlântica e em plantios abandonados de eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:905-916.
- Moody, D.R., Schlossberg, M.J. (2010). Soil water repellency index prediction using the molarity of ethanol droplet test. *Vadose Zone Journal*, 9:1046–1051. <https://doi.org/10.2136/vzj2009.0119>.
- Moore, G., Blackwell, P. (2001). Water repellence. In: Moore, G. (Ed.), *Soil Guide: A Handbook for Understanding and Managing Agricultural Soils*. Bulletin No. 4343. Agriculture Western Australia.
- Moreau, A.M.S.S., Ker, J.C., Costa, L.M., Gomes, F.H. (2006). Caracterização de solos de duas topossequências em tabuleiros costeiros do Sul da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 30:1007-1019.
- Morrison, R. T., Boyd, R. N. (1998). *Química orgânica*. Pearson educação.
- Moura, A.D.S. (2018). Hidrofobicidade em solos arenosos e argilosos sob diferentes usos na região semiárida de Pernambuco. Mestrado em Produção Agrícola - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns.
- Nand, K.F. (2006). *Qualidade do solo e meio ambiente*. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão.
- Nguyen, T.T., Janik, L., Raupach, M. (1991). Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transformation (DRIFT) spectroscopy in soil studies. *Australian Journal of Soil Research*, 29: 49-67.
- Novothy, E.H., Colnago, L.A. (2015). Técnicas de ressonância magnética aplicadas no estudo da Matéria Orgânica do Solo. In: Nunes, R.R., Rezende, M.O.O. *Recurso Solo: propriedades e usos*. São Carlos: Editora Cubo. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1036122/tecnicas-de-ressonancia-magnetica-aplicadas-no-estudo-da-materia-organica-do-solo>>. Acesso em 12 de out. de 2021.
- Nunes, J.A., Schaefer, C.E.G.R., Ferreira Júnior, W.G., Neri, A.V., Correa, G.R., Enright, N.J. (2015). Soil-vegetation relationships on a banded ironstone 'island', Carajás Plateau, Brazilian Eastern Amazonia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87:2097-2110.
- Nuzzo, A., Buurman, P., Cozzolino, V., Spaccini, R., Piccolo, A. (2020). Infrared

spectra of soil organic matter under a primary vegetation sequence. *Chemical and biological technologies in agriculture*, 7:1-12.

- Oliveira, C.V. (1999). Atributos químicos, mineralógicos e micromorfológicos, gênese e uso de solos do Projeto Jaíba, Norte de Minas Gerais. Doutorado em Agronomia - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 161p
- Oliveira, J.A. (1998). Caracterização física da bacia do Ribeirão Cachimbal-Pinheiral (RJ) e de suas principais paisagens degradadas. Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ,142p.
- Oliveira, J.B. , Jacomine, P.K.T., Camargo, M.N. (1992). *Classes Gerais de Solos do Brasil: Guia Auxiliar para seu Reconhecimento*. 2. Ed. Jaboticabal: FUNEP, 201 p.
- Oliveira, L.B. (2007). Mineralogia, micromorfologia, gênese e classificação de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no Semiárido do Nordeste brasileiro. Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 189p.
- Oliveira, L.B. , Fontes, M.P.F., Ribeiro, M.R., Ker, J.C. (2008). Micromorfologia e Gênese de Luvisolos e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no Semiárido Brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2407-2423.
- Oliveira, L.B., Fontes, M.P.F., Ribeiro, M.R., Ker, J.C. (2009). Morfologia e Classificação de Luvisolos e Planossolos Desenvolvidos de Rochas Metamórficas no Semiárido do Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33:1333-1345.
- Oliveira, L.B., Ribeiro, M.R., Ferraz, F.B., Ferreira, M.G.V.X., Mermut, A.R. (2004). Mineralogia, micromorfologia e gênese de solos planossólicos do Sertão do Araripe, estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28:665-678.
- Olorunfemi, I.E., Fasinmirin, J.T. (2017). Land use management effects on soil hydrophobicity and hydraulic properties in Ekiti State, forest vegetative zone of Nigeria. *Catena*, 155:170-186.
- Orfánus, T., Diapa, P., Fodor, N., Rajkai, K., Sandor, R., Novakova, K. (2014). How severe and subcritical water repellency determines the seasonal infiltration in natural and cultivated sandy soils. *Soil and Tillage Research*, 135:49–59.

- Pérez, D.V., Simão, S.M., Salatino, A. (1998). Identificação e caracterização da repelência à água em alguns solos brasileiros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22:173-179, 1998.
- Pessanha, A.S., Menini Neto, L., Forzza, R.C., Nascimento, M. (2014). Composition and conservation of Orchidaceae on an inselberg in the Brazilian Atlantic Forest and floristic relationships with areas of Eastern Brazil. *Revista de Biología Tropical*, 62:829-841.
- Philip, J.R. (1957). The theory of infiltration: 4. The influence of the initial moisture content. *Soil Science*, 84:29-340.
- Philip, J.R. (1957). The Theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equations. *Soil Science*, 84:257-264.
- Piccolo, A. (1996). Humus and soil conservation. In: Piccolo A (Ed) *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. Elsevier, p. 225–264.
- Piccolo, A. (2016). In memoriam Prof. F.J. Stevenson and the Question of humic substances in soil. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 3:1-3.
- Piccolo, A., Mirabella, A. (1985). Effetto di differenti estraenti inorganici e organici su alcune proprietà chimiche e chimico-fisiche di un acido umico. *Annali dell'Istituto Sperimentale per lo Studio e la Difesa del Suolo*, Firenze, 16.
- Pires, G.G., Santos, R.M., Tristão, R.A., Pifano, D.S., Reis, C.A., Domingos, D.Q. (2014). Influência de variáveis ambientais na comunidade arbórea de inselbergs. *Cerne* 20:97-104
- Pohlman, A. A., & McColl, J. G. (1988). Soluble organics from forest litter and their role in metal dissolution. *Soil Science Society of America Journal*, 52:265-271.
- Porembski S., Silveira, F.A.O., Fiedler, P.L., Watve, A., Rabarimanarivo, M., Kouame, F., Hopper, S.D. (2016). Worldwide destruction of inselbergs and related rock outcrops threatens a unique ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 25:2827-2830.
- Porembski, S. (2007). Tropical inselbergs: habitat types, adaptive strategies and diversity patterns. *Revista Brasileira de Botânica* 30:579–586.
- Porembski, S., Barthlott, W. (2000). Granitic and gneissic outcrops (inselbergs) as centers of diversity for desiccation-tolerant vascular plants. *Plant Ecology* 151:19–28.
- Porto, P.A.F., Almeida, A., Pessoa, W.J., Trovão, D., Felix, L.P. (2008). Composição florística de um *inselbergue* no agreste paraibano, município de

- Esperança, nordeste do Brasil. *Revista Caatinga* 21:214-223.
- Potratz, G.L., Valeriano, C.M. (2017). Petrografia e litogeoquímica do granito Itaoca, município de Campos dos Goytacazes, RJ: o representante mais jovem do magmatismo pós-colisional da Faixa Ribeira. *Geonomus*, p. 1-13.
- Pragana, R.B., Ribeiro, M.R., Nóbrega, J.C.A., Ribeiro Filho, M.R., Costa, J.A. (2012). Qualidade física de latossolos amarelos sob Plantio direto na região do cerrado piauiense. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36:1591-1600.
- Preston, C.M. (1996). Applications of NMR to soil organic matter analysis: history and prospects. *Soil science*, 161:144-166.
- Prezotti, L.C., Bragança, S.M. (2013). Acúmulo de massa seca, N, P e K em diferentes materiais genéticos de café Conilon. *Coffee Science*, 8: 284-294..
- Primo, D.C., Menezes, R.S.C., Silva, T.O. (2011). Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no Nordeste Brasileiro. *Scientia plena*, 7. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/biolig/art_citados/Subst%C3%A2ncias%20h%C3%BAmicas%20da%20mat%C3%A9ria%20org%C3%A2nica%20do%20solouma%20revis%C3%A3o.pdf>. Acessado em 12 de out. 2021.
- Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., Vogel, H.J. (2018). Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, 314:122-137.
- Ranzani, G. (1969). Manual de levantamento de solos (p. 167). Rio de Janeiro: Edgard Blücher.
- Regalado, C.M., Ritter, A. (2011). La curva de retención de un suelo hidrófugo: desarrollo de un modelo físico y su verificación experimental.
- Reichardt, K. (1987). A água nos sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 188p
- Reichardt, K., Timm, L.C. (2004). Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, p. 478.
- Reinert, D.J., Reichert, J.M., Veiga, M., Suzuki, L.E.A.S. (2006). Qualidade física dos solos. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água. 16., Aracaju, 2006. Palestras. Aracaju, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.
- Rennert, T., Georgiadis, A., Ghong, N.P., Rinklebe, J. (2018). Compositional variety of soil organic matter in mollic floodplain-soil profiles-Also an indicator of pedogenesis. *Geoderma*, 311:15-24.
- Reynolds, W.D., Elrick, D.E. (1990). Poned infiltration from a single ring: I.

- Analysis of steady flow. *Soil Science Society of America Journal*, 54:1233-1241.
- Reynolds, W.D., Elrick, D.E. (1991). Determination of hydraulic conductivity using a tension infiltrometer. *Soil Science Society of America Journal*, 55:633-639.
- Reynolds, W.D., Vieira, S.R., Topp, G.C. (1992). An Assessment of the single-head analysis for the constant head wheel permeameter. *Can. J. Soil. Sci.*, 72:489-501.
- Rillig, M.C. (2005). A connection between fungal hydrophobins and soil water repellency. *Pedobiologia*, 49:395-399.
- Rillig, M.C., Mardatin, N.F., Leifheit, E.F., Antunes, P.M. (2010). Mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi increases soil water repellency and is sufficient to maintain water-stable soil aggregates. *Soil Biology and Biochemistry*, 42:1189-1191. 2010.
- Rodríguez-Alleres, M., Benito, I., De Blas, E. (2007). Extent and persistence of water repellency in north-western Spanish soils. *Hydrological Processes*, 21:2291-2299.
- Ronquim, C.C. (2010). *Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais*. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite.
- Roper, M.M. (2004). The isolation and characterization of bacteria with the potential to degrade waxes that cause water repellency in sandy soils. *Australian Journal of Soil Research*, 42:427-434.
- Roy, J.L., McGill, W.B. (2002). Assessing soil water repellency using the molarity of ethanol droplet (MED) test. *Soil Science*, 167: 83-97.
- Rye, C.F., Smettem, K.R.J. (2017). The effect of water repellent soil surface layers on preferential flow and bare soil evaporation. *Geoderma*, 289:142-149.
- Safford, H.D., Martinelli, G. (2000). Southeast Brazil. *In: Porembski S e Barthlott W (eds.). Inselbergs: Biotic diversity of isolated rock outcrops in tropical and temperate regions*. Springer, p.339–389.
- Santana, G.S., Dick, D.P., Tomazi, M., Bayer, C., Jacques, A.V.A. (2013). Chemical composition and stocks of soil organic matter in a south Brazilian oxisol under pasture. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 24:821–829.
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumberras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Araújo Filho, J.C., Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*, 5.ed. Brasília, Embrapa. p. 530.

- Santos, J.C.B. dos, Souza Júnior, V.S. de, Corrêa, M.M., Ribeiro, M.R., Almeida, M. da C. de, Borges, L.E.P. (2012). Caracterização de Neossolos Regolíticos da Região Semiárida do Estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 36:683-695.
- Santos, R. D., Santos, H. G. dos. Ker, J. C., Anjos, L. H. C. dos, Shimizu, S. H. (2015). *Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo*. 7.ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência de Solos, 101 p.
- Santos, R.D., Lemos, R.C., Santos, H.G., Ker, J.C., e Anjos, L.H.C. (2005) *Manual de descrição e coleta de solo no campo*. 5.ed. Viçosa, MG, SBCS/EMBRAPA/CNPS, p. 100.
- Sarkhot, D.V., Comerford, N.B., Jokela, E.J., Reeves, J.B. (2007). Effects of forest management intensity on carbon and nitrogen content in different soil size fractions of a North Florida Spodosol. *Plant and soil*, 294:291-303.
- Sarkhot, D.V., Comerford, N.B., Jokela, E.J., Reeves, J.B., Harris, W.G. (2007). Aggregation and aggregate carbon in a forested southeastern coastal plain spodosol. *Soil Science Society of America Journal*, 71:1779-1787.
- Scarano, F.R. (2007). Rock outcrop vegetation in Brazil: a brief overview. *Revista Brasileira de Botânica*, 30:561-568.
- Schaetzl, R.J., Anderson, S. (2005). *Soils: Genesis and Geomorphology*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Schaumann, G.E., Braun, B., Kirchner, D., Rotard, W., Szewzyk, U., Grohmann, E. (2007). Influence of biofilms on the water repellency of urban soil samples. *Hydrological Processes*, 21:2276-2284.
- Schwinning, S. e Ehleringer, J.R. (2001). Water use trade-offs and optimal adaptations to pulse-driven arid ecosystems. *Journal of Ecology* 89:464–480.
- Senesi, N., D’orazio, V., Rica, G. (2003). Humic acids in the first generation of Eurosoils. *Geoderma*, 116:325-344.
- Seybold, C.A., Herrick, J.E., Brejda, J.J. (1999). Soil resilience: A fundamental component of soil quality. *Soil Science*, 164:224-234.
- Seybold, C.A., Mausbach, M.J., Karlen, D.L., Rogers, H.H. (1998). Quantification of soil quality. In: LaL, R., Kimble, J.M., Follet, R.F. & Stewart, B.A., eds. *Soil processes and the carbon cycle*. Boca Raton, CRC Press, p.387-404.
- Shakesby, R.A., Doerr, S.H., Walsh, R.P.D. (2000). The erosional impact of soil hydrophobicity: current problems and future research directions. *Journal of*

Hydrology, 231:178-191.

- Siebold, A., Walliser, A., Nardin, M., Oppliger, M., Schultz, J. (1997). Capillary rise for thermodynamic characterization of solid particle surface. *Journal of colloid and interface science*, 186:60-70.
- Silva, J.R.C. (2000). *Agricultura, Sustentabilidade e o Semiárido*. Fortaleza: UFC, p. 406.
- Silva, J.R.C., Silva, F.J. da. (1997b). Produtividade de um solo litólico associado ao controle de erosão por cordões de pedra em contorno. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 21:35-440.
- Silva, L.B.D., Dick, D P., Inda Junior, A.V. (2008). Solos subtropicais de altitude: atributos químicos, teor de matéria orgânica e resistência à oxidação química. *Ciência Rural*. 38:1167-1171.
- Silva, M.B., Anjos, L.H.C., Pereira, M.G., Nascimento, R.A.M. (2001). Estudo de topossequência na baixada litorânea fluminense: Efeito do material de origem e posição topográfica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 25:965-976.
- Silva, V.R., Reinert, D.J., Reichert, J.M. (2000). Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:191-199.
- Simas, F.N.B., Schaefer, C.E.G.R., Fernandes, E.I., Chagas, A.C., Brandão, P.C. (2005). Chemistry, mineralogy and micropedology of highland soils on crystalline rocks of Serra da Mantiqueira, southeastern Brazil. *Geoderma*, 125:187-201.
- Simon, T., Javůrek, M., Mikanova, O., Vach, M. (2009). The influence of tillage systems on soil organic matter and soil hydrophobicity. *Soil and Tillage Research*, 105:44-48.
- Smettem, K.R.J., Rye, C., Henry, D.J., Sochacki, S.J, Harper, R.J. (2021). Soil water repellency and the five spheres of influence: A review of mechanisms, measurement and ecological implications. *Science of the Total Environment*, 787: 147429.
- Soffiati, A.A. (1998). Aspectos Históricos das Lagoas do Norte do Estado do Rio de Janeiro. In: Esteves, F.A. (ed.). *Ecologia das Lagoas Costeiras do Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba e do Município de Macaé (RJ)*. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Soffiati, A.A. (2005). História das ações antrópicas sobre os ecossistemas

vegetais nativos das regiões Norte e Noroeste do estado do Rio de Janeiro. Perspectivas 4.

- Soil Survey Staff (2022). Keys to soil taxonomy. 13.ed. Washington, USDA Natural Resources Conservation Service. 402p. Disponível em: <<https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-09/Keys-to-Soil-Taxonomy.pdf>>. Acesso: 22/05/2020.
- Soriano-Disla, J., Janik, L.J., Rossel, R.A.V., Macdonald, L.M., McLaughlin, M.J. (2014). The performance of visible, near and mid-infrared reflectance spectroscopy for prediction of soil physical, chemical and biological properties. *Applied Spectroscopy Reviews*, 49:139-186.
- Souza, E.R. (1996). Alterações físico-químicas no deflúvio de três bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola. Mestrado em Engenharia Florestal - Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG, 91p.
- Souza-Buturi, F.O. Wunderlichia. In *Flora e Funga do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB5541>>. Acesso em: 27 set. 2022.
- Spaccini, R., Piccolo, A., Haberhauer, G., Stemmer, M., Gerzabek, M.H. (2001). Decomposition of maize straw in three European soils as revealed by DRIFT spectra of soil particle fractions. *Geoderma*, 99:245-260.
- Spaccini, R., Zena, A., Igwe, C.A., Mbagwu, J.S.C., Piccolo, A. (2001). Carbohydrates in water-stable aggregates and particle size fractions of forested and cultivated soils in two contrasting tropical ecosystems. *Biogeochemistry*, 53:1-22.
- Sposito, G. (1989). *The chemistry of soils*. New York: University Press.
- Stefanoski, D.C., Santos, G.G., Marchão, R.L., Petter, F.A., Pacheco, L.P. (2013). Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental*, 17:1301–1309.
- Stevenson, J.F. (1994). *Humus chemistry, gênese, composition, reactions*. 2ª ed. New York, John Wiley.
- Tan, K.H. (2003). *Humic Matter in Soil and the Environment*. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Tan, Z.X., Lal, R., Smeck, N.E., Calhoun, F.G. (2004). Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables. *Geoderma*, 121:187-195.
- Täumer, K., Stoffregen, H., Wessolek, G. (2005). Determination of repellency

- distribution using soil organic matter and water content. *Geoderma*, 125:107-115.
- Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G. (2017). Manual de métodos de análise de solos. 3.ed. rev. e ampl. Brasília (DF): Embrapa. p. 573.
- Thomas, M.F. (1994). *Geomorphology in the tropics: study of weathering and denudation in low latitudes*. John Wiley & Sons. 460p.
- Tillman, R.W., Scotter, D.R., Wallis, M.G., Clothier, B.E. (1989). Water repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. *Australian Journal Soil Research*. 27:637–644.
- Toledo, M.C.M., Oliveira, S.M.B., Melfi, A.J. (2000). Intemperismo e formação do solo. In *Decifrando a terra*. São Paulo: Oficina de textos, p. 139-166.
- Toledo, M.C.M.D., Pereira, V.P. (2001). A variabilidade de composição da apatita associada a carbonatitos. *Revista do Instituto Geológico*, 22:27-64.
- Tomé JR., J.B. (1997). Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba, Agropecuária, 247.
- Twidale, C.R. (1968). *Geomorphology with special reference to Australia*. Nelson, Melbourne, 406 p.
- Ulery, A.L., Graham, R.C., Bowen, L.H. (1996). Forest fire effects on soil phyllosilicates in California. *Soil Science Society of America Journal*, 60:309-315.
- Ulery, A.L., Graham, R.C., Goforth, B.R., Hubbert, K.R. (2017). Fire effects on cation exchange capacity of California forest and woodland soils. *Geoderma*, 286:125-130.
- Urbanek, E., Hallett, P., Feeney, D., Horn, D. (2007). Water repellency and distribution of hydrophilic and hydrophobic compounds in soil aggregates from different tillage systems. *Geoderma* 140:147–155.
- Valladares, G.S., Benites, V.D.M., Pereira, M.G., Anjos, L.H.C., Ebeling, A.G. (2003) Proposta para classificação de organossolos em níveis inferiores com base nas frações húmicas. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 35p. (Embrapa Monitoramento por Satélite. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 2).
- Valladares, G.S., Gomes, E.G., Mello, J.C.C.B.S., Pereira, M.G., Anjos, L.H.C., Ebeling, A.G., Benites, V.M. (2008) Análise dos componentes principais e métodos multicritério ordinais no estudo de Organossolos e solos afins. *Revista*

- Brasileira de Ciência do Solo, 32:285-296.
- Vazquez, G., Alvarez, E., Navaza, J.M. (1995) Surface tension of alcohol water+ water from 20 to 50. degree. C. Journal of Chemical and Engineering Data, 40:611-614.
- Vezzani, F.M., Mielniczuk, J. (2009) Uma visão sobre qualidade do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33:743–755.
- Vezzani, F.M., Mielniczuk, J.M. (2011) O solo como sistema. Curitiba: Ed. dos autores, 104p.
- Vincent, R.C., Meguro, M. (2008) Influence of soil properties on the abundance of plant species in ferruginous rocky soils vegetation, southeastern Brazil. Revista Brasileira de Botânica, 31:377-388.
- Viscarra Rossel, R.A., Behrens, T. (2010) Using data mining to model and interpret soil diffuse reflectance spectra. Geoderma, 158:46-54.
- Viscarra Rossel, R.A., Walvoort, D.J.J., McBratney A.B., Janik, L.J., Skjemsta, J.O. (2006) Visible, near infrared, mid infrared or combined diffuse reflectance spectroscopy for simultaneous assessment of various soil properties. Geoderma, 131:59-75.
- Vogelmann, E.S., Prevedello, J., Reichert, J.M. (2015) Origin of hydrophobic compounds and their effects in pinus and eucalyptus forests. Ciência Florestal, Santa Maria, 25:1067-1079.
- Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., Awe, G.O. (2013) Hydro-physical processes and soil properties correlated with origin of soil hydrophobicity. Ciência Rural, 43:1582–1589.
- Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., Awe, G.O., Cerdá, A. (2017) Soil moisture influences sorptivity and water repellency of topsoil aggregates in native grasslands. Geoderma, 305:374-381.
- Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Prevedello, J., De Barros, C.A.P., De Quadros, F.L.F., Mataix-Solera, J. (2012) Soil hydro-physical changes in natural grassland of southern Brazil subjected to burning management. Soil Research, Collingwood, 50:465-472.
- Vogelmann, E.S., Reichert, J.M., Reinert, D.J., Mentges, M.I., Vieira, D.A., De Barros, C.A.P., Fasinmirin, J.T. (2010) Water repellency in soils of humid subtropical climate of Rio Grande do Sul, Brazil. Soil and Tillage Research, 110:126-133.

- Volkoff, B., Cerri, C.C., Melfi, A.J. (1984) Húmus e mineralogia dos horizontes superficiais de três solos de campo de altitude dos Estados de Minas Gerais, Paraná e Santa Catarina. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 8:277-283.
- Walkley, A., Black, I.A. (1934) An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37:29-38.
- Wang, D., Shen, Y., Li, Y., Huang, J. (2016) Rock Outcrops Redistribute Organic Carbon and Nutrients to Nearby Soil Patches in Three Karst Ecosystems in SW China. *PLoS One*, 11:e0160773. doi:10.1371/journal.pone.0160773
- Washburn, E.W. (1921) The dynamics of capillary flow. *Physical Review.*, 17:273–283.
- Watson, C.L., Letey, J. (1970) Indices for characterizing soil–water repellency based upon contact angle–surface tension relationships. *Soil Science Society of America Proceedings*, 34:841–844.
- Watson, C.L., Letey, J., Mustafa, M.A. (1971) The influence of liquid surface tension and liquid-solid contact angle on liquid entry into porous media. *Soil Science*, 112:78-183.
- Watson, C.L., Mcneal, B.L., Letey, J. (1969) The effect of surfactants on the hydraulic conductivity of salt-affected soils. *Soil Science*, 108:58-63.
- Wijewardana, N.S., Müller, K., Moldrup, P., Clothier, B., Komatsu, T., Hiradate, S., De Jonge, L.W., Kawamoto, K. (2016) Soil-water repellency characteristic curves for soil profiles with organic carbon gradients. *Geoderma*, 264:150–159.
- Woche, S.K., Goebel, M.O., Kirkham, M.B., Horton, R., Van der Ploeg, R.R., Bachmann, J. (2005) Contact angle of soils as affected by depth texture and land management. *European Journal of Soil Science, Oxford*, 56:239-251.
- Wutke, A.C.P. (1972) Acidez. In: Moniz, A.C. *Elementos de pedologia*. São Paulo, Polígono/USP. p.149-168.
- Xifré-Salvadó, M.A., Prat-Guitart, N., Francos, M., Úbeda, X., Castellnou, M (2021) Effects of Fire on the Organic and Chemical Properties of Soil in a *Pinus halepensis* Mill. Forest in Rocallaura, NE. Spain *Sustainability*, 13:5178.
- Xifré-Salvadó, M.À., Prat-Guitart, N., Francos, M., Úbeda, X., Castellnou, M. Smouldering (2020) Combustion Dynamics of a Soil from a *Pinus halepensis* Mill. Forest. A Case Study of the Rocallaura Fires in Northeastern Spain. *Applied Sciences*, 10:3449.

- Zanchi, F.B., Waterloo, M.J., Tapia, A.P., Alvarado-Barrientos, M.S., Bolson, M.A., Luizão, F.J., Manzi, A.O., Dolman, A.J. (2015) Water balance, nutrient and carbon export from a heath forest catchment in central Amazonia, Brazil. *Hydrological Processes*, 29:3633–3648.
- Zhu, X., Shen, Y., He, B., Zhao, Z. (2017) Humus soil as a critical driver of forest conversion on karst rock outcrops. *Scientific Reports*, 7:12611.