



**SAULO SATURNINO SOUSA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUALIDADE DO SOLO EM  
RESERVAS AMBIENTAIS NA SERRA DO CURRAL, MG**

**SETE LAGOAS / MG  
2016**



**SAULO SATURNINO SOUSA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUALIDADE DO SOLO EM  
RESERVAS AMBIENTAIS NA SERRA DO CURRAL, MG**

**SETE LAGOAS / MG  
2016**

**SAULO SATURNINO SOUSA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUALIDADE DO SOLO EM  
RESERVAS AMBIENTAIS NA SERRA DO CURRAL, MG.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei - Campus Sete Lagoas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias na área de concentração em Produção Vegetal.

**Orientador: Prof. Dr. Diego Antonio França de Freitas**

**Coorientadores: Prof. Dr. Anderson Oliveira Latini e Prof.Dr. Bruno Montoani Silva**

**SETE LAGOAS / MG  
2016**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Divisão de Biblioteca da UFSJ, MG, Brasil.**

---

S725c Sousa, Saulo Saturnino, 1986 -  
2016 Caracterização física e qualidade do solo em reservas ambientais na  
Serra do Curral, MG / Saulo Saturnino Sousa. -- 2016.  
64 f. : il.

Orientador: Diego Antonio França de Freitas.

Co-orientadores: Anderson Oliveira Latini.

Bruno Montoani Silva

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de São João Del-Rei,  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias.

1. Solo - Curral, Serra do (MG) - Teses. 2. Análise do solo - Curral, Serra do  
(MG) - Teses. 3. - Curral, Serra do (MG) - Reserva ambiental - Teses I.  
Sousa, Saulo Saturnino. II. Freitas, Diego Antonio França de. III. Latini,  
Anderson Oliveira. IV. Silva, Bruno Montoani. V. Universidade Federal de  
São João Del-Rei. Graduação em Engenharia Agrônômica. VI. Título.

---

CDU: 63

**SAULO SATURNINO SOUSA**

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUALIDADE DO SOLO EM  
RESERVAS AMBIENTAIS NA SERRA DO CURRAL, MG.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei - Campus Sete Lagoas, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias na área de concentração em Produção Vegetal.

**Orientador: Prof. Dr. Diego Antonio França de Freitas**

**Coorientadores: Prof. Dr. Anderson Oliveira Latini e Prof.Dr. Bruno Montoani Silva**

Sete Lagoas, 25 de fevereiro de 2016.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Paula Sant'Anna Moreira Pais - Centro Universitário de Belo Horizonte

Prof.Dr. Samuel Petraccone Caixeta – Universidade Federal de São João Del-Rei

---

Prof.Dr.Diego Antonio França de Freitas-UFV  
Orientador

## DEDICATÓRIA

À minha mãe, Lúcia; ao meu pai, José; às minhas irmãs Sarah e Melina;  
À minha sobrinha Laura;  
E à minha noiva, Marcela,  
Pelo amor, apoio e incentivo incondicional.  
Dedico e agradeço.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por sempre estar ao meu lado me guiando e dando forças ante a minha caminhada. Aos meus pais José de Sousa Santana Sobrinho e Lúcia Aparecida Saturnino Sousa, pelo apoio e por me incentivarem a sempre ser uma pessoa melhor.

Às minhas irmãs Sarah e Melina, por constantemente acreditarem na minha capacidade. Aos cunhados, pelos momentos de descontração.

À minha sobrinha Laura, por me dar conforto em momentos de atribulações.

À minha noiva Marcela, pelo amor, carinho e apoio incondicional.

À UFSJ, pela oportunidade de realização do mestrado.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, pelos ensinamentos e apoio.

Aos Profs. Dr. Diego Antônio França de Freitas, Dr. Anderson Oliveira Latini e Dr. Bruno Montoani Silva, pela orientação, dedicação, paciência e amizade.

Aos meus amigos do mestrado e aos alunos de graduação que me ajudaram nas análises laboratoriais: Viviane, Aline, Manoela, Athos e Eduardo.

Aos colegas de laboratório, Matheus e Adriano, pela imensa ajuda na condução de todo o trabalho e aos alunos de graduação que me ajudaram na amostragem dos solos: Caike, Caio, Gilberto e Marcel.

À Fundação Municipal de Parques da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.

Aos professores Samuel Petraccone Caixeta e Paula Sant'Anna Moreira Pais, por aceitarem fazer parte da banca examinadora desta dissertação.

A todos os meus familiares, pelo carinho e apoio.

A todos os meus amigos que, de alguma forma, contribuíram e contribuem para o meu crescimento como cidadão.

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), pela concessão da bolsa de Mestrado. Este trabalho é parte dos resultados obtidos na execução do projeto CRA RDP 192-10 de financiamento conjunto entre FAPEMIG E VALE S.A.

Enfim, a todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização desse sonho.

## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	1
<b>2. REFERÊNCIAS</b> .....	9
<b>3. ARTIGO 1: CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EM AMBIENTES INFLUENCIADOS POR MINERAÇÃO DE FERRO EM MINAS GERAIS</b> .....	11
3.1 Resumo .....	12
3.2 Abstract.....	12
3.3 Introdução .....	13
3.4 Material e Métodos.....	15
3.5 Resultados e Discussão .....	19
3.6 Conclusão .....	25
3.7 Referências .....	26
<b>4. ARTIGO 2: DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E QUALIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES USOS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS, BRASIL</b> .....	30
4.1 Resumo .....	31
4.2 Abstract.....	31
4.3 Introdução .....	32
4.4 Material e Métodos.....	35
4.5 Resultados e Discussão .....	40
4.6 Conclusão .....	49
4.7 Referências .....	49
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	54



## **CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUALIDADE DO SOLO EM RESERVAS AMBIENTAIS NA SERRA DO CURRAL, MG.**

**RESUMO** - A cobertura vegetal é importante para a manutenção dos ciclos químicos, físicos e biológicos do solo; atuando na manutenção da qualidade e mitigação de possíveis impactos. A descoberta da mineração intensificou o crescimento populacional e o desenvolvimento econômico do Estado de Minas Gerais. Neste período ocorreu uma intensa exploração, alteração da cobertura vegetal, revolvimento e compactação do solo, causando intensos impactos; numa região hoje nomeada Quadrilátero Ferrífero. O estudo foi realizado no Parque Fort Lauderdale e no Parque Municipal Serra Do Curral, situados no complexo Serra do Curral, que está no perímetro da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais; e faz parte do Quadrilátero Ferrífero. Foram realizadas amostragens deformadas e indeformadas do solo, bem como avaliações visuais da qualidade do solo passíveis de serem relacionadas às mudanças nas paisagens. Foram estudadas cinco áreas de estágios diferentes de impactação, variando desde uma com total cobertura vegetal até outra com escassez da cobertura. Em relação aos atributos estudados a partir das análises deformadas; “mata” e “Eucalipto” apresentaram maior estabilidade física, sendo que a pedregosidade pode ter influenciado os dados de Diâmetro Médio Ponderado, Diâmetro Médio Geométrico, Índice de Estabilidade de Agregados e Índice S. Já para os dados obtidos a partir das amostras deformadas, houve destaque positivo para “campo” e negativo para “mata”, sendo que os altos teores de Pedregosidade, MOS, Silte, Argila e Areia podem ter influenciado nos resultados, principalmente nas áreas de “mata” e “Eucalipto”. Conclui-se que, uma menor cobertura vegetal diminui o teor de matéria orgânica e reduz os resultados para a maioria dos atributos físicos estudados. A avaliação visual ainda que não muito eficiente na determinação da qualidade física do solo, corroboraram com os resultados das análises laboratoriais. Estudos em áreas pós mineração são importantes à manutenção da qualidade ambiental e mitigação de possíveis impactos ao solo causados pela atividade.

**Palavras chave:** Qualidade física do solo, Degradação Ambiental, Mineração

## **PHYSICAL CHARACTERISTICS AND RESERVES IN SOIL ENVIRONMENTAL QUALITY IN CURRAL SERRA, MG.**

**ABSTRACT** - Vegetation cover is important for the maintenance of chemical, physical and biological soil cycles; acting on quality maintenance and mitigation of potential impacts. Discovery of mining intensified population growth and economic development of the State of Minas Gerais. In this period there was an intense exploration, changes in vegetation cover, revolving and soil compaction, causing severe impacts; in a region today named Quadrilátero Ferrífero. The study was conducted in Parque Fort Lauderdale and Parque Municipal Serra Do Curral, located in the Serra do Curral, which is on the perimeter of the city of Belo Horizonte, Minas Gerais, and is part of the Quadrilátero Ferrífero. Disturbed and undisturbed soil samples were taken, as well as visual evaluations of soil quality that could be related to changes in landscapes. Five areas of different stages of impactation were studied, ranging from one with the total vegetation cover to another scarce coverage. In relation to attributes studied from the deformed analysis; "Mata" and "Eucalipto" showed greater physical stability, and the high amount of stones found in the area may have influenced the data Weighted Mean Diameter, Geometric Mean Diameter, Aggregate Stability Index and the Stability Index. Already for data obtained from the deformed samples, there was a positive emphasis on "campo" and negative for "Mata", and the high amount of stones, MOS, silt, clay and sand may have influenced the results, particularly in the areas of "Mata" and "Eucalipto". In conclusion, a lower vegetation cover reduces the content of organic matter and reduces the results for most of the studied physical attributes. Visual assessment although not very efficient in the determination of soil physical quality, corroborated with the results of laboratory tests. Studies in post mining areas are important to maintaining environmental quality and mitigation of potential impacts to the soil caused by the activity.

**Keywords:** Soil physical quality, Environmental Degradation, Mining

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O solo é habitat e serve como base para obtenção de recursos para grande parte dos seres vivos do planeta. É também um complexo meio formado principalmente por minerais e organismos vivos, tendo como principais funções a manutenção de ciclos nutricionais e hidrológicos, bem como o armazenamento, proteção das águas subsuperficiais e disponibilização ao longo do ano para os cursos de água superficiais. No Brasil, o uso do solo intensificou-se a partir do século XVIII, com o segundo ciclo da cana-de-açúcar e principalmente com o uso de pastejo de gado de corte e leite, aumentando a degradação de áreas e abrindo novas áreas agrícolas. A produtividade do solo está relacionada aos seus atributos físico-químicos, que atuam na manutenção dos nutrientes, na disponibilidade de água, no crescimento de plantas e no rendimento agrícola (Niero et al., 2010), sofrendo, assim, impactos constantes de acordo com seu uso e manejo cultural.

A degradação do solo é constante em solos mal manejados, principalmente em áreas descobertas, que sofrem ação erosiva não apenas pelo impacto das gotas de chuva, mas também devido à desagregação e escorrimento superficial de suas partículas. Sendo o solo um sistema influenciado por ação humana e natural, seus atributos variam conforme o uso, dependendo de fatores externos, como chuva, vento, material de origem e outros (de Vries et al., 2013).

A erosão é um dos maiores problemas do assoreamento de rios, degradação do solo, perdas de produtividade e degradação ambiental em áreas pós exploração. O processo se inicia com o salpicamento, desprendimento e arraste das partículas a outras regiões onde estas ficarão depositadas, mediado pelo vento ou água (Júnior et al., 2008). O processo erosivo depende da composição do solo e pode acontecer naturalmente e/ou ser intensificado por ações antrópicas, sendo ainda mais intenso em regiões tropicais (Adenosun et al., 2015). Em um solo descoberto, o simples impacto da gota de chuva leva a essa desagregação e ao arraste de partículas; já em regiões com certa altitude, a água tende a descer em velocidade, quando o índice de pluviosidade chega a valores maiores que a taxa de infiltração básica (Kumar et al., 2012) e a formar caminhos de erosão que, em estágios avançados, são chamadas voçorocas.

A degradação do solo, que se inicia na retirada da vegetação presente, pode

provocar a redução da qualidade de águas superficiais, uma vez que a enxurrada poderá conter sedimentos e agroquímicos, que serão depositados nos rios, lagos e córregos, podendo causar perda total ou parcial da biodiversidade nestes (Guerra, 2005).

A vegetação é de suma importância à manutenção das propriedades naturais e à recuperação ambiental. A presença vegetal ajuda não apenas cobrindo o solo, mas também na infiltração de água, no aumento da umidade e na redução do escoamento superficial (Frota & Nappo, 2012). Os principais atributos do solo- umidade, textura, estrutura/porosidade (macro e microporosidade), densidade e estabilidade dos agregados- estão relacionados diretamente com sua estrutura.

O centro-sul do estado de Minas Gerais, a partir dos anos de 1950, passou a ser chamado de Quadrilátero Ferrífero, pela alta quantidade de minerais metálicos e pedras preciosas nele encontradas; ocupa aproximadamente 7000 km<sup>2</sup> e é posicionado em serras com altitudes que variam de 1000 a 2000 metros. Sua vegetação é bastante heterogênea, variando de floresta estacional semidecidual, transição entre floresta e cerrado, campos cerrados e campos rupestres; sua rede hidrográfica é composta por duas bacias: a do rio São Francisco e a do rio Doce (Nunes et al., 2012). As atividades mais desenvolvidas na região, além da mineração, é o turismo, a metalurgia e a siderurgia. No Quadrilátero Ferrífero verifica-se uma menor quantidade de áreas cultivadas devido, principalmente, ao seu potencial mineral, à sua topografia e geologia; contudo, encontra-se, principalmente em pequenas propriedades, a pecuária, o cultivo de culturas anuais e algumas perenes.

Dentro do Quadrilátero Ferrífero encontram-se as áreas estudadas neste projeto, no município de Belo Horizonte - MG, que faz parte do complexo da Serra do Curral e fica adjacente a minas de extração de cascalho e minério. Na região nomeada “Complexo Serra do Curral” estão localizados os Parques Municipal Serra do Curral, Fort Lauderdale e Parque das Mangabeiras, servindo, dessa forma, de corredor ecológico entre as áreas protegidas (Prefeitura Municipal de Belo Horizonte).

Um dos distúrbios mais importantes aos solos no Quadrilátero Ferrífero é a mineração. A atividade de mineração é de suma importância economicamente à sociedade (Carvalho, 2011). Contudo, a ação mineradora é altamente impactante ao

solo, uma vez que este se torna descoberto e o trânsito de equipamentos causa não só a desagregação das partículas, mas também a compactação do mesmo, sendo, assim, altamente danosa ao meio ambiente (Masto et al., 2015).

A mineração retira o material vegetal presente e faz a raspagem das camadas superficiais do solo, expondo-o a um maior intemperismo, uma vez que suas propriedades anteriormente em profundidade possuem características diferentes (Liu et al., 2015). Solos em áreas degradadas apresentam baixos teores de nutrientes e características físico-químicas diferentes do original (Guimarães et al., 2013).

A restauração de áreas impactadas por ação mineradora é problemática (Milder et al., 2013); contudo, há uma forte pressão sobre essas empresas na preservação do meio ambiente. As áreas mineradas devem ser recuperadas pelas próprias empresas operantes e custos não devem ser transferidos para agências governamentais ou para a sociedade.

A mineração pode levar a grandes impactos sobre os solos, quando não realizada de forma ecologicamente correta e utilizando-se de técnicas inadequadas (Longo et al., 2011); o estudo da viabilidade de sua recuperação deve ser feito anteriormente à exploração nas áreas, a fim de se estabelecer uma vegetação vigorosa mesmo pós mineração (Yang et al., 2014).

O objetivo geral deste estudo foi relacionar a degradação do solo de acordo com a quantidade de cobertura vegetal presente nas áreas, variando de um estágio mais avançado de degradação a outro estrato arborizado. As áreas foram identificadas como: superficialmente minerada ou raspada, borda de voçoroca, Campo Rupestre, Mata Semidecidual e uma área com plantio de Eucalipto na região do Parque Municipal da Serra do Curral e Parque Fort Lauderdale, situado em Belo Horizonte - MG.

No primeiro capítulo buscou-se caracterizar as propriedades físicas das áreas e diagnosticar sua qualidade, relacionando o efeito da degradação nos atributos físicos do solo.

No segundo capítulo foram visualmente avaliados os atributos físicos do solo-segundo metodologia preconizada por Shepherd (2000), as propriedades físicas obtidas a partir de amostras indeformadas do solo e modeladas à curva de água no solo, visando

determinar a água que estará disponível para as plantas.

Foram realizadas caracterizações dos perfis do solo para uma maior fundamentação e conhecimento das áreas em estudo. São apresentadas abaixo as descrições dos perfis de cada uma das áreas, seguidas da ilustração dos mesmos e suas paisagens (Figura 1).

#### *Perfil da área Voçoroca*

Data: 26/01/16.

Classificação: Saprólito exposto (tipo de terreno), borda de voçoroca.

Classificação anterior: -

Localização, município, estado e coordenadas: Parque Municipal Fort Lauderdale, Belo Horizonte - MG. Nas coordenadas 19° 57' 34.654" S e 43° 55' 17.220" W.

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Voçoroca situada no terço médio do terreno com 3% de declividade (área da borda da mesma) em relevo montanhoso a escarpado, com vegetação esparsa.

Altitude: 1238 metros.

Litologia, formação geológica e cronologia: decomposição de itabiritos da Formação Cauê e quartzitos da formação cercadinho (Apasul, 2005).

Material originário: produto da decomposição de itabiritos e quartzitos.

Pedregosidade: pedregoso.

Rochosidade: não rochoso.

Relevo local: montanhoso.

Relevo regional: montanhoso a escarpado.

Erosão: voçoroca.

Drenagem: mal drenado.

Vegetação primária: campo rupestre.

Uso atual: Revegetação natural.

Clima: Cwa de Köppen.

Observações: Material amostrado retirado por Saulo Saturnino; foram amostradas área de borda da voçoroca.

#### *Perfil da área Raspada*

Data: 26/01/16.

Classificação: NEOSSOLO REGOLÍTICO

Classificação anterior: -

Localização, município, estado e coordenadas: Parque Municipal Fort Lauderdale, Belo Horizonte - MG. Nas coordenadas 19° 57' 37.202" S e 43° 55' 15.697" W.

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Área localizada no terço médio do terreno com 3% de declividade e com relevo montanhoso a escarpado. Presença de gramíneas e pequenos arbustos espaçados, características de campo rupestre.

Altitude: 1211 metros.

Litologia, formação geológica e cronologia: itabiritos da Formação Cauê e quartzitos da formação cercadinho (Apasul, 2005).

Material originário: cobertura de caráter argilosa, como produto da decomposição de Itabirito

principalmente.

Pedregosidade: pedregoso.

Rochosidade: não rochoso.

Relevo local: montanhoso a escarpado.

Relevo regional: montanhoso a escarpado.

Erosão: erosão laminar severa.

Drenagem: mal drenado.

Vegetação primária: campo rupestre.

Uso atual: Revegetação natural.

Descrição Morfológica

Horizonte A: 0 - 20 cm, cor úmida Bruno Escuro (7,5YR 3/3), blocos subangulares pequena moderada, Argiloso, plástico e pegajoso. A transição clara, plana-inclinada.

Horizonte Bi: 20 - 30 cm, cor Bruno Forte (7,5YR 4/6), blocos subangulares pequena moderada, argiloso, plástico e pegajoso, transição clara e plana.

Horizonte CR: 30 – 52+ cm, cor Cinza Muito Escuro (10YR 3/1), blocos subangulares média pequena fraca. Franco arenoso, pouco plástico e ligeiramente pegajoso.

Raízes: comuns nos horizontes superficiais e raras em profundidade.

Clima: Cwa de Köppen.

Observações: Material coletado e descrito por Saulo Saturnino Sousa e João Herbert Moreira Viana; poros pequenos em todos os horizontes.

#### *Perfil da área Mata*

Data: 26/01/16

Classificação: CAMBISSOLO HÚMICO

Classificação anterior: -

Localização, município, estado e coordenadas: Parque Municipal Serra do Curral, Belo Horizonte - MG. Nas coordenadas 19° 57' 55.184" S e 43° 55' 1.956" W.

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Área localizada no terço superior do terreno com 30% de declividade e com relevo montanhoso a escarpado. Mata fechada característica de floresta Semidecidual.

Altitude: 1296 metros.

Litologia, formação geológica e cronologia: itabiritos da Formação Cauê e quartzitos da formação cercadinho.

Material originário: produto da decomposição de Itabiritos e Quartzitos.

Pedregosidade: pedregoso.

Rochosidade: não rochoso.

Relevo local: montanhoso a escarpado.

Relevo regional: ondulado e altamente ondulado.

Erosão: baixa erosão laminar.

Drenagem: bem drenado.

Vegetação primária: floresta Semidecidual.

Uso atual: vegetação nativa primária.

Descrição Morfológica

Horizonte A: 0 - 32 cm, cor úmida Bruno Avermelhado Escuro (2,5YR 3,5/3) blocos subangulares muito pequena, franco arenoso, pouco plástico e ligeiramente pegajoso. Transição plana e difusa.

Horizonte Bi: 32 – 78 cm, cor úmida Bruno Avermelhado Escuro (2,5YR 3,3/3) granular muito pequena e forte. Franco arenoso, pouco plástico e ligeiramente pegajoso, transição

plana e difusa.

Horizonte R: 78 – 185+ cm, rocha não alterada.

Raízes: as raízes são abundantes desde muito pequenas a grossas nos dois horizontes.

Clima: Cwa de Köppen.

Observações: Material coletado e descrito por Saulo Saturnino Sousa e João Herbert Moreira Viana; poros comuns e grandes com grande quantidade de serrapilheira.

#### *Perfil da área Eucalipto*

Data: 26/01/16

Classificação: NEOSSOLO LITÓLICO

Classificação anterior:

Localização, município, estado e coordenadas: Parque Municipal Serra do Curral, Belo Horizonte - MG. Nas coordenadas 19° 57' 57.294" S e 43° 55' 3.022" W.

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Área localizada no terço superior do terreno com 80% de declividade e com relevo montanhoso. Floresta plantada de Eucalipto com sub-bosque abundante.

Altitude: 1279 metros.

Litologia, formação geológica e cronologia: itabiritos da Formação Cauê e quartzitos da formação cercadinho.

Material originário: produto da decomposição de Itabiritos e Quartzitos.

Pedregosidade: pedregoso.

Rochosidade: rochoso.

Relevo local: montanhoso.

Relevo regional: montanhoso.

Erosão: erosão laminar moderada.

Drenagem: bem drenado.

Vegetação primária: floresta estacional subdecidual.

Uso atual: floresta plantada de Eucalipto.

Descrição Morfológica

Horizonte A: 0 – 23 cm, cor úmida Vermelho Amarelado (5YR 3/4) blocos subangulares pequena, moderada forte. Franco arenoso, pouco plástico e ligeiramente pegajoso, transição plana e ligeiramente inclinada.

Horizonte R: 23 – 65+ cm, Rocha não alterada.

Raízes: as raízes são abundantes, pequenas, médias e algumas grossas.

Clima: Cwa de Köppen.

Observações: Material coletado e descrito por Saulo Saturnino Sousa e João Herbert Moreira Viana; poros comuns e grandes.

#### *Perfil da área Campo*

Data: 26/01/16.

Classificação: NEOSSOLO LITÓLICO

Classificação anterior: -

Localização, município, estado e coordenadas: Parque Municipal Serra do Curral, Belo Horizonte - MG. Nas coordenadas 19° 57' 48.960" S e 43° 55' 7.630" W.

Situação, declive e cobertura vegetal sobre o perfil: Área localizada no terço médio do terreno com 10% de declividade e com relevo montanhoso a escarpado. Vegetação rasteira e arbustiva característica de campo rupestre.

Altitude: 1252 metros.



Litologia, formação geológica e cronologia: itabiritos da Formação Cauê e quartzitos da formação cercadinho.

Material originário: produto da decomposição de Itabiritos e Quartzitos.

Pedregosidade: pedregoso.

Rochosidade: rochoso.

Relevo local: montanhoso.

Relevo regional: montanhoso.

Erosão: erosão laminar ligeira.

Drenagem: bem drenado.

Vegetação primária: campo rupestre.

Uso atual: reserva ambiental.

Descrição Morfológica

Horizonte A: 0 - 24 cm, cor úmida Bruno Avermelhado Escuro (2,5YR 2,5/3), granular muito pequena e moderada, argilo-siltoso, pouco plástico e ligeiramente pegajoso, transição plana e gradual.

Horizonte Bi: 24 - 34 cm, cor úmida Bruno Avermelhado Escuro (2,5YR 3/4), granular pequena moderada, argilo-siltoso, pouco plástico e ligeiramente pegajoso,

Horizonte R: 34 - 60+ cm, Rocha não alterada.

Raízes: As raízes são finas, muito finas e abundantes nos horizontes A e Bi.

Clima: Cwa de Köppen.

Observações: Material coletado e descrito por Saulo Saturnino Sousa e João Herbert Moreira Viana.

Há exploração de calcário em mina próxima à estudada; o contato com a rocha é irregular, sendo que esta apresenta fraturamento com penetração de material do Bi; poros comuns e grandes com quantidade significativa de serrapilheira; solo apresentando muitos fragmentos grandes (acima de cascalho).

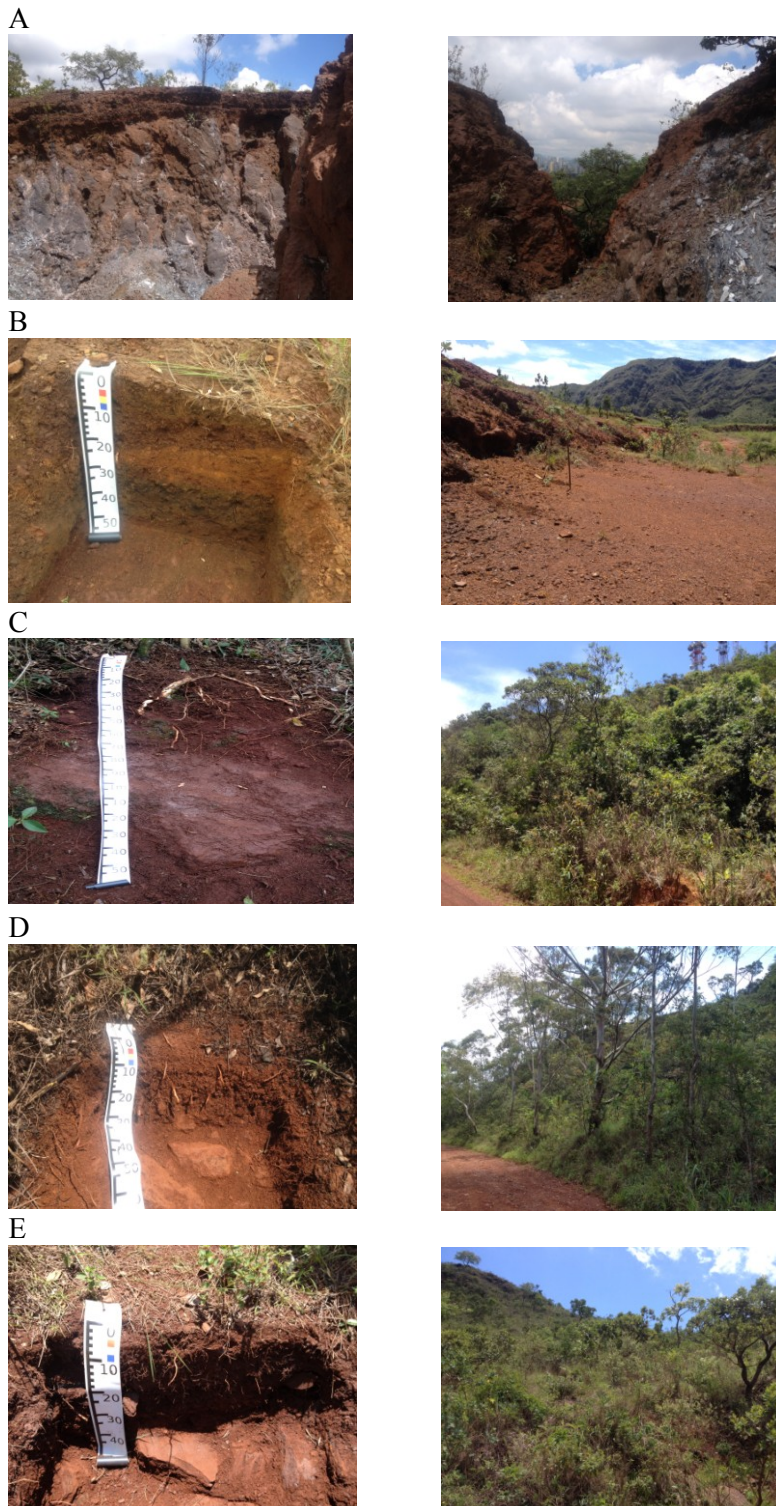


Figura 1. Ilustração das áreas e seus respectivos perfis (voçoroca, A; raspada, B; mata, C; eucalipto, D; campo, E) no Parque Municipal da Serra do Curral e Parque Fort Lauderdale, Belo Horizonte-MG, Brasil.

## 2. REFERÊNCIAS

- ADESODUN, J. K. et al. Carbon-Nitrogen Stocks and Structural Stability of a Tropical Loamy Sand Soil as Influenced By *Thitonia diversifolia* (L.) and other Fertilizers. **International Journal Of Soil Science**, n. 1816-4978, 2015.
- MEDINA, A.I.M.; DANTAS, M.E; SAADI,A. Estudo do Meio Físico. Belo Horizonte. **Projeto Apasul RMBH**, v. 06, p. 29-40, 2005.
- CARVALHO, R. P. B. Contributions of geosystems analysis in the recovery of areas degraded by mining activities. **Caderno de Geografia**, v. 21, n. 36, p. 13–28, 2011.
- DE VRIES, F. T. et al. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 35, p. 14296–14301, 2013.
- FROTA, P. V.; NAPPO, M. E. Processos erosivos e a retirada da vegetação na Bacia Hidrográfica do Açude Orós - CE. **Geonorte**, v. 4, n. 4, p. 1472–1481, 2012.
- GUERRA, A. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de geografia**, v. 16, p. 32–37, 2005.
- GUIMARÃES, J. C. C. et al. Cost analysis and ecological benefits of environmental recovery methodologies in bauxite mining. **Revista Cerne**, v. 19, n. 1, p. 9–17, 2013.
- JÚNIOR, J.; CRUZ, L.; RODRIGUES, S. Monitoramento de erosão laminar em diferentes usos da terra, Uberlândia–MG/The Monitoring of the Sheetflow Erosion in different Land Uses, Uberlândia–MG. **Revista Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 2, p. 157–175, 2008.
- KUMAR, S. et al. Tillage and Rice-Wheat Cropping Sequence Influences on Some Soil Physical Properties and Wheat Yield under Water Deficit Conditions. **Open Journal of Soil Science**, v. 2012, n. June, p. 71–81, 2012.
- LIU, D. et al. Rainfall intensity and slope gradient effects on sediment losses and splash from a saline–sodic soil under coastal reclamation. **CATENA**, v. 128, p. 54–62, 2015.
- LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; DE MELO, W. J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: Biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 132–138, 2011.
- MASTO, R. E. et al. Assessment of environmental soil quality around Sonepur Bazari mine of Raniganj coalfield, India. **Solid Earth**, v. 6, n. 3, p. 811–821, 2015.
- MILDER, A. I.; FERNÁNDEZ-SANTOS, B.; MARTÍNEZ-RUIZ, C. Colonization Patterns Of Woody Species On Lands Mined For Coal In Spain: Preliminary Insights For Forest Expansion. **Land Degradation and Development**, v. 24, n. February 2011, p. 39–46, 2013.
- NIERO, L. A. C. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação

por análises físicas e químicas em um latossolo vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 2010.

NUNES, M.; COSTA, S.; SILVA, R. O quadrilátero ferrífero e o norte de minas gerais: análise da história e importância econômica. **Unimontes**, p. 1–16, 2012.

SHEPHERD, T. G. Visual soil assessment: Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. In: **Horizons.mw & Landcare Research**. p. 84, 2000.

YANG, F. et al. Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 3086–3093, 2014.

### **3. ARTIGO 1**

## **CARACTERIZAÇÃO DO SOLO EM AMBIENTES INFLUENCIADOS POR MINERAÇÃO DE FERRO EM MINAS GERAIS**

### 3.1 - Resumo

O uso intensificado e sem um manejo conservacionista provoca a total ou parcial degradação do solo. Os atributos químicos, biológicos e físicos variam de acordo com sua exploração. A retirada da cobertura vegetal influencia fortemente nos atributos físicos, havendo maior degradação quanto menor for a cobertura vegetal. O quadrilátero ferrífero é uma região situada no centro sul do estado de Minas Gerais e tem como principal atividade a mineração, que além de explorar e degradar os solos tem descarte contínuo de material. Amostras de solo foram coletadas no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, situados no complexo Serra do Curral, região que faz parte do Quadrilátero Ferrífero, na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Foram retiradas amostras em áreas com diferentes coberturas vegetais para caracterização edáfica a fim de relacionar um contínuo de degradação com a alteração dos parâmetros físicos do solo. Áreas de “mata” e “Eucalipto” apresentaram maior estabilidade em relação aos atributos físicos avaliados. A alta pedregosidade encontrada nas áreas podem ter influenciado os dados de Diâmetro Médio Ponderado, Diâmetro Médio Geométrico, Índice de Estabilidade de Agregados e Índice S. Quanto menor a cobertura vegetal encontrada, menor o teor de matéria orgânica e pior foram os atributos físicos desses solos. Estes resultados são importantes para fomentação de discussões futuras voltadas ao uso sustentável do solo.

**Palavras-Chave:** Áreas degradadas, Mineração, Qualidade Física do solo.

### 3.2 - Abstract

The intensive use without a conservative management causes partial or complete degradation of the soil. Chemical, biological and physical properties vary according to their exploitation. The removal of vegetation strongly influences the physical attributes. The greater the degradation, the less the vegetation. The Iron Quadrangle is a region located in the south center of the state of Minas Gerais and is primarily engaged in mining that besides exploiting and degrading soils have continued disposal of material. Soil samples were collected at the Serra do Curral City park and at Fort Lauderdale Park, both located at Serra do Curral, a region that is part of the Iron Quadrangle in Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil. Samples were taken in areas with different vegetation cover in order to relate edaphic characterization and a continuous in the degradation with the change of the soil physical parameters. Eucalyptus and bush areas showed greater stability compared to the assessed physical attributes. The high amount of stones found in the area may have influenced the data Weighted Mean Diameter, Geometric Mean Diameter, Aggregate Stability Index and the Stability Index. The lower the vegetation cover found, the lower the content of organic matter and the worse the physical attributes of these soils. These results are important for nurturing future discussions aimed at sustainable land use.

**Keywords:** Degraded areas, Mining, Soil Physics Quality.

### 3.3 - Introdução

A descoberta de minério de ferro em Minas Gerais impulsionou não apenas seu povoamento, mas também tornou-se uma alternativa de exploração econômica altamente rentável. A mineração é a atividade econômica mais importante no Estado (Carvalho, 2011), sendo destaque na região chamada Quadrilátero Ferrífero (Guimarães et al., 2013).

Apesar da sua importância econômica, a mineração é também uma atividade altamente impactante ao meio ambiente: a retirada da vegetação, a remoção do solo, a exposição de sedimentos, a erosão hídrica e a redução da biota do solo comprometem terras cultiváveis e põe em risco os recursos hídricos (Dorgbetor et al., 2012), tornando-se um distúrbio significativo para os ecossistemas (Masto et al., 2015). Impactos à vegetação e à cobertura do solo, além de dificuldades na sua restauração, são relatados constantemente (Milder et al., 2013). Operações de raspagem do solo, detonação, compactação causada pelo peso das máquinas, dentre outros, geram grandes quantidades de resíduos (Masto et al., 2011).

A mineração, portanto, afeta não só a vegetação, mas também o solo, que é um recurso natural importante. Aspectos sociais, geológicos, econômicos e ambientais estão relacionados ao solo (Brevik et al., 2015); a biodiversidade presente neste confere suprimentos essenciais aos seres humanos e ao meio ambiente, tendo grande relação com a saúde humana (Zornoza et al., 2015). A crescente pressão sobre o meio ambiente afeta a capacidade do solo em manter suas funções, sendo, assim, necessários estudos que quantifiquem a sua qualidade (Bruun et al., 2013).

O solo é a base para a produção de alimentos no mundo, servindo de habitat para grande parte dos organismos vivos (Giller et al., 1997); entretanto, o seu uso intensivo sem adoção de manejo conservacionista pode causar impactos negativos (Moebius-clune et al., 2011). Também é um bom indicador de qualidade ambiental, sendo que a presença de poluentes no solo pode afetar sua capacidade de manter o ambiente em equilíbrio (Masto et al., 2015). Desta forma, a avaliação dos atributos físicos e químicos dos solos é importante para diagnosticar a qualidade ambiental de áreas após a mineração.

Segundo Silva et al. (2012), os atributos físicos do solo estão altamente relacionados entre si e, juntos, determinam a qualidade da sua estrutura. Dessa forma, são necessários

estudos objetivando caracterizar os solos para, posteriormente, propor-se medidas que visem à manutenção ou à recuperação dos mesmos. O solo é um sistema altamente mutável, sofrendo constante ação antrópica e natural; conseqüentemente, seus atributos podem variar de acordo com a sua forma de uso (de Vries et al., 2013), dependendo de alguns fatores intrínsecos, como, por exemplo, o seu material de origem.

Os agregados presentes no solo são fatores de grande importância na manutenção e conservação das suas características físicas, pois conferem maior resistência deste ao processo erosivo (Duchicela et al., 2013). A estabilidade dos agregados nada mais é que a capacidade das partículas em resistir ao processo de desagregação mecânica. O Índice de Estabilidade (Is) relaciona a cobertura vegetal aos atributos físicos do solo e mostra a semelhança entre diferentes áreas, podendo determinar o quão diferentes estão os atributos físicos do mesmo (Torres et al., 2015).

A dispersão das argilas é a desagregação destas promovida por manejo inadequado e/ou calagens excessivas, estando associada à estabilidade de agregados e à susceptibilidade desse solo à erosão. A matéria orgânica é um dos componentes mais importantes na manutenção de um solo, com propriedades físicas ideais. Todos os atributos físicos do solo sofrem alguma influência da quantidade de matéria orgânica, aumentando a agregação das partículas dos solos, tornando-os mais estáveis, diminuindo seu grau de compactação e promovendo uma rede de bioporos pela atividade da mesofauna e de raízes profundas, influenciando fortemente o movimento de água no solo (Júnior et al., 2012).

Apesar de haver tantas variáveis utilizáveis para diagnosticar a qualidade dos solos, algumas podem ser mais eficazes e discernirem melhor as diferenças entre usos distintos. Assim, o uso de ferramentas estatísticas discriminantes também deve constituir estratégia valorável para diagnosticar não somente a qualidade dos solos, mas também o peso das diferentes variáveis no diagnóstico. Um exemplo de ferramenta matemática que pode ser usada para este fim é a Análise de Componentes Principais (ACP), que é capaz de reduzir a dimensionalidade dos dados e verificar a relação entre as amostras, produzindo componentes que explicitam a diferença entre os tratamentos; dessa forma, seu princípio consiste em encontrar variáveis latentes e que distingam tais áreas (Islabão et al., 2013).

O objetivo deste trabalho foi caracterizar as propriedades físicas do solo e diagnosticar sua qualidade em cinco áreas com diferentes coberturas vegetais, sendo estas divididas em:



área superficialmente minerada, borda de voçoroca, Campo Rupestre, Mata Semidecidual e área com plantio de Eucalipto na região do Quadrilátero Ferrífero, nos Parques Municipal da Serra do Curral e Fort Lauderdale, situados em Belo Horizonte - MG.

### **3.4 - Material e Métodos**

O diagnóstico foi realizado nos parques Municipal Serra do Curral e Fort Lauderdale, que fazem parte do complexo Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, situado na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. Tal região encontra-se nas coordenadas 19°57'41.98"S e 43°55'12.30"O e o clima se enquadra como Cwa, segundo classificação Climática de Köppen (Rolim et al., 2007); as unidades pedológicas dominantes são associações entre Neossolo Regolítico/Litóico e Cambissolo Húmico (Embrapa, 2013).

Os ambientes avaliados variaram em relação à sua cobertura vegetal, sendo esta uma área descoberta, com mineração superficial (aqui denominada de raspada), uma área de borda de voçoroca (denominada “voçoroca”), uma área de Campo Rupestre (fisionomia típica do Bioma de Cerrado), uma área de mata (fisionomia de Mata Semidecidual) e uma área com plantio de Eucalipto (Figura 1).



Figura 1. Ilustração fotográfica das diferentes áreas estudadas e da localização desta área no mapa de Minas Gerais (raspada, A; voçoroca, B; campo, C; mata, D; Eucalipto, E; área do diagnóstico, F) no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Belo Horizonte - MG, Brasil.

As áreas possuem em suas adjacências algumas minas em atividade e outras desativadas, segundo registros históricos do desenvolvimento do município de Belo

Horizonte. Estas áreas passaram por um processo de mineração de calcário e de minérios de ferro cerca de 36 anos atrás, com alguma atividade ainda hoje. Destaca-se nesta região a ocorrência de queimadas clandestinas, que são agravadas pelo tipo de vegetação que favorece a dispersão dos incêndios, e a proximidade de região urbana. Assim, frequentemente o solo de tal região vem sendo descoberto, principalmente pela ação do fogo; conseqüentemente, há mudança contínua dos atributos físicos e químicos destes solos, que estão apresentados na Tabelas 1 e na Tabela 2.

**Tabela 1.** Teores de Argila, Silte e Areia nas camadas 0-10 e 10-20 cm para cinco diferentes áreas (Raspada, Voçoroca, Campo, Mata e Eucalipto) no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Belo Horizonte - MG, Brasil.

	Argila	Silte	Areia
0 - 10 cm			
Raspada	40,55	46,91	12,54
Voçoroca	17,05	54,38	28,56
Campo	28,54	45,74	25,72
Mata	9,13	61,86	29,02
Eucalipto	32,66	24,04	4,3
10 - 20 cm			
Raspada	45,2	38,83	15,97
Voçoroca	23,04	46,87	30,09
Campo	29,53	46,66	23,81
Mata	9,15	59,38	31,47
Eucalipto	24,25	37,13	38,61

**Tabela 2.** Análise química do solo para nas camadas 0-10 e 10-20 cm para cinco diferentes áreas (Raspada, Voçoroca, Campo, Mata e Eucalipto) no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Belo Horizonte - MG, Brasil.

Área	pH H <sub>2</sub> O	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	T	T	V	m	P-rem
		mg/dm <sup>3</sup>				cmol/dm <sup>3</sup>				%		mg/L
0 - 10 cm												
Raspada	5,1	36	1,71	1,7	0,3	0,1	6,3	2,19	8,39	24,94	4,57	13,75
Voçoroca	5,7	34	1,42	0,4	0,1	0,1	2,59	0,69	3,18	18,46	14,49	34,07
Campo	6,3	44	2,6	2,3	0,5	0,1	2,9	3,01	5,81	50,13	3,32	25,81
Mata	4,4	26	3,53	0,5	0,1	0,7	19,15	1,37	19,82	3,36	51,09	15,49
Eucalipto	4,7	58	10,64	1,1	0,3	0,4	12,28	1,95	13,83	11,2	20,51	15,94
10 - 20 cm												
Raspada	5,5	30	1,13	0,6	0,1	0,1	3,62	0,88	4,4	17,66	11,36	12,53
Voçoroca	5,2	12	0,84	0,1	0,1	0,1	3,24	0,33	3,47	6,65	30,3	24,34
Campo	6,1	18	1,42	0,8	0,1	0,1	2,32	1,05	3,27	28,93	9,52	13,75
Mata	4,6	36	3,53	0,4	0,1	0,9	19,15	1,49	19,74	3,00	60,4	13,33
Eucalipto	5,3	56	6,85	1,1	0,3	0,3	7,04	1,84	8,58	17,99	16,3	17,86

As amostragens foram feitas em março de 2015, em cada área e de modo aleatório, seguindo um delineamento inteiramente casualizado, com 5 repetições, no esquema fatorial 5x2, onde foram avaliados os efeitos de cinco áreas e duas profundidades. Foram abertas pequenas trincheiras e retiradas as amostras deformadas. Todo o material foi levado ao laboratório de solos da Universidade Federal de São João del-Rei, Campus Sete Lagoas (UFSJ-CSL).

A análise granulométrica foi determinada pelo método da pipeta (Embrapa, 2011), utilizando dispersão com NaOH (0,1 mol L<sup>-1</sup>) e agitação lenta (40rpm) por 16 horas. Foram quantificadas a argila dispersa em água (ADA), o grau de floculação (GF) e a pedregosidade, conforme métodos descritos por (Embrapa, 2011). A matéria orgânica do solo (MOS) foi determinada por oxidação da matéria orgânica com K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> em meio sulfúrico (Embrapa, 2011).

Para determinação da estabilidade de agregados foi utilizada a metodologia do tamisamento úmido (Embrapa, 2011). Foram retirados 25g das amostras secas ao ar obtidas por peneiramento inicial nas malhas de 8 mm e retidas na malha de 4mm que, após pré-umedecimento, foram levadas ao agitador mecânico tipo Yoder em conjunto de peneiras com abertura decrescente, sendo: 2,0 mm; 1,0 mm; 0,5 mm; 0,25 mm e 0,09 mm, para separação das classes de tamanhos dos agregados. A agitação foi de 10 rpm por quinze minutos. Foram adotados como índices de agregação o diâmetro médio geométrico (DMG), o diâmetro médio ponderado (DMP), o Índice de Estabilidade dos Agregados (IEA) (Castro Filho et al., 1998; Silva et al., 2013) e o Índice de Estabilidade (Is) (Reynolds et al., 2007). Para o cálculo de Is foi utilizada a fórmula:

$$I_s = \frac{1.72 \text{ MO (wt\%)}}{(\text{Silte+argila}) \text{ (wt\%)}} \times 100$$

onde MO é o teor de Matéria Orgânica, wt% é o peso e Silte e Argila representam os teores destes na amostra. Para o cálculo de IEA foi utilizada a fórmula:

$$IEA = \frac{\text{Peso Amostra Seca} - \text{wp25} - \text{Areia}}{\text{Peso Amostra Seca} - \text{Areia}} \times 100$$

onde wp25 é o peso dos agregados da classe <0,25mm e a Areia (%) representa o teor desta classe textural na amostra.

Os diferentes ambientes avaliados consistiram nos diferentes níveis do fator “área” e as profundidades de 0-10cm e 10-20cm- os dois níveis do fator “profundidade”. Utilizou-se uma análise de componentes principais (ACP) para determinação dos atributos físicos do solo mais importantes no discernimento entre as regiões amostradas, que consistiram das variáveis dependentes para o teste da hipótese nula de igualdade de parâmetros entre as regiões, usando-se um modelo de análise de variância com dois fatores (*two-way* ANOVA).

Quando não houve normalidade e/ou homogeneidade das variâncias pelos testes de *Shapiro-Wilk* e *Levene* foi feita uma transformação Box-Cox para sua obtenção. Persistindo a não obtenção destes pressupostos, optou-se pelo uso do Kruskal Wallis, equivalente não paramétrico da ANOVA. Para os testes *a posteriori* foi usado o Scott-Knott e para todos os testes foi considerado o nível de 5% de significância. Todas as análises foram feitas utilizando o pacote estatístico Software R (R Core Team, 2014).

### **3.5 - Resultados e Discussão**

Os atributos do solo avaliados produziram uma explicação acumulada dos três primeiros componentes da ACP de 79,36%, sendo que os dois primeiros obtiveram 71,76% (Tabela 3) de explicação das diferenças entre as áreas amostradas, o que é considerado uma boa explicação para o fenômeno estudado (Jolliffe, 2008).

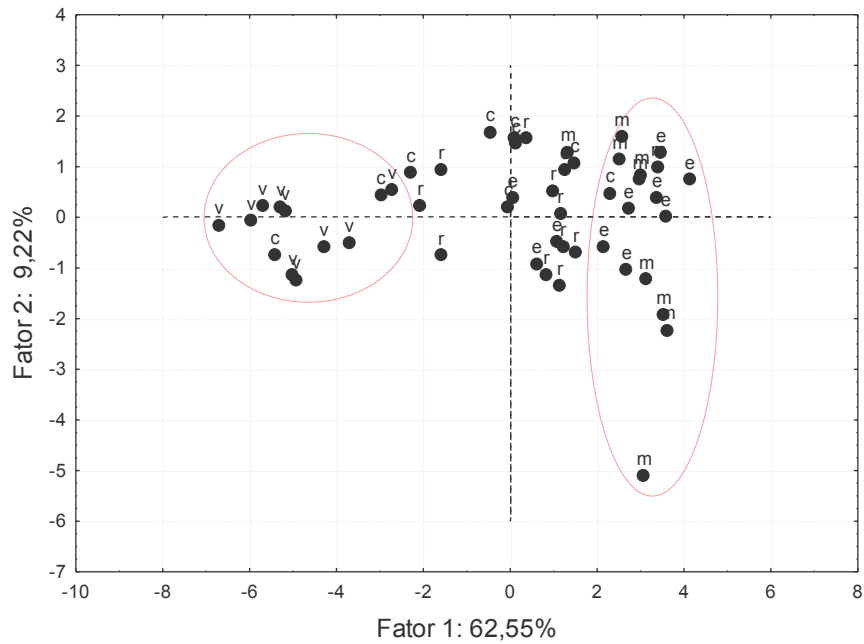
O primeiro componente explicou 62,54% da variação do modelo, sendo que as variáveis que mais contribuíram para sua formação e que, portanto, têm mais importância na distinção das áreas, foram: - positivamente: Umidade, DMP, DMG, MOS, IEA, Is, Agregados de 8-2mm; e - negativamente: Agregados de 0,5-1mm, Agregados de 0,25-0,5mm; Agregados de 0.09-0.25mm; e Agregados de <0.09mm, com as cargas respectivas de 0.70, 0.97, 0.98, 0.74, 0.73, 0.97, -0.90, -0.94, -0.94 e -0.92 (Tabela 3, Figura 2). O segundo componente totaliza 9.22% da variância total do modelo, sendo que as variáveis que mais contribuíram para sua formação e, conseqüentemente, são mais importantes, foram: positivamente- o GF, com carga de 0.80 e negativamente- a ADA, com carga de -0.78 (Tabela 3, Figura 2).

**Tabela3.** Análise de Componentes Principais efetuada com as variáveis obtidas de amostras de solo das áreas estudadas, no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Belo Horizonte - MG, Brasil.

Variável	1	2
Umidade (%)	<b>0.70</b>	-0.03
Densidade de Partículas (%)	0.58	-0.09
Diâmetro Médio Ponderado (mm)	<b>0.97</b>	-0.03
Diâmetro Médio Geométrico (mm)	<b>0.98</b>	0.03
Matéria Orgânica (%)	<b>0.75</b>	0.30
Pedregosidade (%)	0.39	0.10
Argila Dispersa em Água (%)	0.43	<b>-0.78</b>
Grau de Floculação (%)	-0.40	<b>0.81</b>
Índice de Estabilidade dos Agregados (%)	<b>0.96</b>	0.04
Ís (%)	<b>0.73</b>	0.23
Agregados de 2-8 (mm)	<b>0.97</b>	0.03
Agregados de 1-2 (mm)	-0.50	0.05
Agregados de 0.5-1 (mm)	<b>-0.90</b>	-0.15
Agregados de 0.25-0.5 (mm)	<b>-0.94</b>	-0.13
Agregados de 0.09-0.25 (mm)	<b>-0.94</b>	-0.03
Agregados < 0.09 (mm)	-0.92	0.02
Proporção de Variância Explicada	62,54%	9,22%

\*Cargas maiores do que 0.60 são apresentadas em negrito e demonstram a importância diferencial das variáveis em cada componente, 1 e 2. Total do modelo explicado com os dois primeiros componentes: 71,76%.

Na Figura 2, os valores representam a projeção de cada amostragem tomada, considerando o seu peso na determinação dos componentes. Apesar de não ser clara uma distinção entre as áreas “raspada” e “campo”, é possível perceber um padrão que discrimina bem as áreas de “voçoroca” das áreas de “mata” e “Eucalipto”, porém não se consegue distinguir “Eucalipto” de “mata”, o que ilustra a eficácia do grupo de variáveis utilizadas na análise.



**Figura 2.** Projeção dos escores utilizando-se os atributos físicos das áreas estudadas, no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Belo Horizonte - MG, Brasil. Os símbolos *r*, *v*, *c*, *m*, *e* distinguem respectivamente os níveis do fator área “raspada”, “voçoroca”, “campo”, “mata” e “Eucalipto”. As regiões I e II ilustram a capacidade das variáveis estudadas discernirem “mata”, “Eucalipto” e “campo”.

A Tabela 4 ilustra, para cada parâmetro importante na explicação dos fatores da ACP (apontados na Tabela 3), o resultado do teste da hipótese nula de igualdade de parâmetros entre as regiões estudadas (fator áreas). Para todos estes parâmetros não houve efeito significativo do fator profundidade ou da interação entre a área e a profundidade ( $p > 0.005$ ), com exceção da matéria orgânica; dessa forma, são apresentados os valores médios para a camada de 0-20cm.

**Tabela 4.** Testes de ANOVA (valores de F) e/ou de Kruskal-Wallis (valores de H) para todas as variáveis estudadas nas diferentes áreas amostradas no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Belo Horizonte-MG, Brasil. Para as diferentes áreas estudadas são apresentadas suas médias ou medianas.

Variável	Estatística	P	CV (%)	Áreas				
				Voçoroca	Raspada	Campo	Eucalipto	Mata
Umidade (%)	F <sub>(4,49)</sub> =98,889	<0,001	23,870	0,301 c	1,331 b	0,511 c	2,731 a	1,565 b
DMP, mm	F <sub>(4,49)</sub> =29,432	<0,001	21,640	1,535 d	3,391 b	2,721 c	4,200 a	4,605 a
DMG, mm	F <sub>(4,49)</sub> =25,235	<0,001	21,110	2,967 c	4,086 b	4,000 b	4,560 a	4,808 a
8-2mm	F <sub>(4,49)</sub> =22,973	<0,001	12,740	13,550 c	18,990 b	18,980 b	21,590 a	23,440 a
0,5-1mm	F <sub>(4,49)</sub> =18,054	<0,001	32,930	1,638 a	0,830 b	0,422 c	0,368 c	0,163 c
0,25-0,5mm	F <sub>(4,49)</sub> =30,063	<0,001	23,530	1,944 a	0,524 b	0,378 b	0,196 c	0,107 c
0,09-0,25mm	H <sub>(4,50)</sub> =34,444	<0,001	223,040	2,065 a	0,335 ab	0,925 ac	0,150 bc	0,105 b
<0,09mm	H <sub>(4,50)</sub> =35,827	<0,001	241,914	3,240 a	0,633 ab	1,905 a	0,137 b	0,152 b
ADA (%)	H <sub>(4,50)</sub> =15,385	0,004	146,747	0,000 c	0,020 abc	0,000 b	0,025 a	0,010 abc
GF (%)	H <sub>(4,50)</sub> =13,514	0,009	0,770	100 ab	99,580 ab	100 a	99,075 b	99,350 ab
Is (%)	H <sub>(4,50)</sub> =28,389	<0,001	57,769	1,110 b	4,070 ab	5,035 a	6,740 a	7,360 a
MOS (%)	H <sub>(4,50)</sub> =24,524	<0,001	54,854	0,805 b	3,340 a	3,605 a	4,220 a	5,095 a
IEA (%)	H <sub>(4,50)</sub> =32,222	<0,001	18,885	53,525 c	93,740 ab	82,145 bc	96,915 a	97,865 a

\*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste Scott-Knott. Medianas seguidas de mesma letra não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste Kruskal-Wallis.

Por serem áreas onde houve um intenso revolvimento do solo e contínua erosão laminar causada por ação de chuva, os CV(%) apresentam valores elevados, ilustrando grande variação dos atributos entre as áreas estudadas. A área com maior umidade no momento da coleta é a de “Eucalipto” (Tabela 4), seguida das áreas de “mata” e “raspada”, que são iguais estatisticamente, e, posteriormente, “voçoroca” e “campo”, que são estatisticamente iguais. Observa-se, a partir deste atributo, que a área de “voçoroca” mostrou um dos menores teores de umidade no momento da coleta, o que revela uma tendência de redução da qualidade do solo avaliada pelos atributos físicos do mesmo, possivelmente pela ausência de cobertura vegetal, pelo baixo teor de argila e pelo baixo índice de MOS, como já demonstrado em outros estudos (Gomide et al., 2011).

Os valores de DMP e DMG variam conforme o grau de impacto sofrido por esses solos, o que corrobora com estudos em solos de agricultura convencional comparados com os de plantio direto e de mata nativa (Portella et al., 2012), onde o aumento da mobilização e degradação dos mesmos resultou na piora em seus atributos físicos (Barros et al., 2013). Rocha et al. (2015) mencionam que quanto maior o revolvimento e/ou intensidade da ação humana sobre determinado solo, maior será o rompimento de seus agregados e menores serão os valores de DMP, DMG e IEA. Os maiores valores de DMP encontrados foram para as áreas de “mata” (4,6mm) e “Eucalipto” (4,2mm); os menores foram nas áreas de “campo” (2,7mm) e de “voçoroca” (1,5mm). Para DMG, “mata” (4,8mm) e “Eucalipto” (4,5mm)



apresentaram os maiores valores e “voçoroca” (2,9mm) o menor. As áreas com menores índices foram as que já sofreram atividade mineradora, não possuindo, visualmente, o horizonte A. Apesar de estas áreas terem sido isoladas, o processo de recuperação acontece de forma natural, com exceção da área plantada de “Eucalipto”. Outro fator importante na piora desses atributos é a ocorrência do fogo. Por estarem em uma face voltada para a área urbana, as áreas de “campo”, “raspada” e “voçoroca” sofrem a ação de descobrimento periódico do solo pela ação do fogo que atinge tal região, tendo origem quase sempre por ação humana; assim, diminui-se o teor de MOS e o solo fica mais susceptível à desagregação de sua estrutura. A MOS tem forte influência na agregação do solo, sendo que sua quantidade irá permitir menor ou maior agregação das partículas. Six e Paustian (2014), estudando solos sob agricultura convencional e orgânica, concluíram que em solos com maior quantidade de resíduo vegetal tenderá a matéria orgânica ficar presa no interior dos macro agregados, melhorando, assim, seus atributos físicos. Dessa forma, a MOS é importante à manutenção da boa qualidade física do solo, afetando fortemente a qualidade do ambiente (Plaza et al., 2013); conseqüentemente, os solos são piores em seus atributos quanto menor o teor de MOS encontrado.

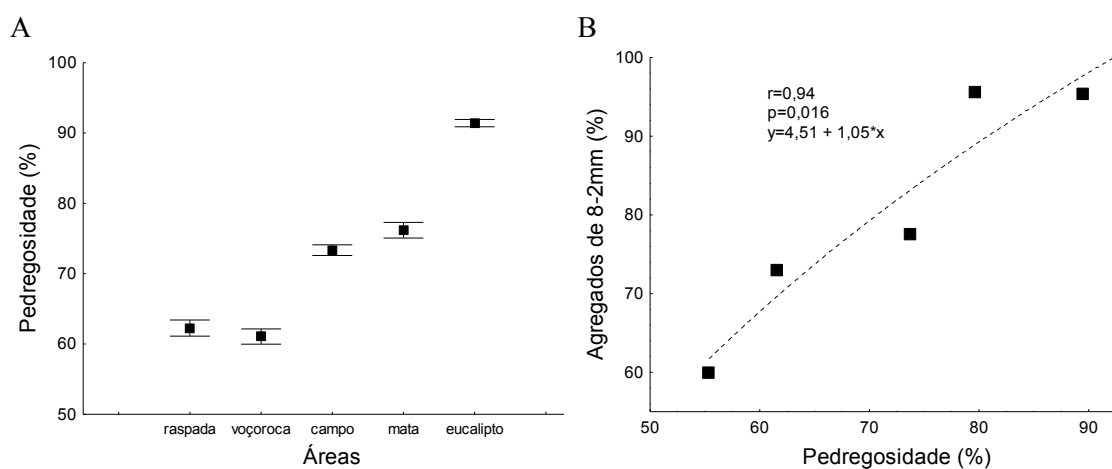
Os maiores índices de IEA também foram encontrados na área de “mata” e de “Eucalipto” (Tabela 4). Segundo Sampaio & Costa (2011), o IEA proporciona uma medida de agregação do solo não considerando todas as classes de agregados: quanto mais agregados < 0,25 mm, menor será o IEA. Os menores valores para agregados < 0,25mm, também conhecidos como microagregados, foram encontrados para “mata” e “Eucalipto”, corroborando com os demais indicadores, sugerindo esses ambientes como os de maior qualidade do solo.

A área de “Eucalipto” teve os maiores valores de ADA e os menores de GF, indicando alta susceptibilidade à erosão (Lima et al., 2013). A distinção destas áreas fica difícil devido à grande heterogeneidade (altos CV(%) – tabela 4) dos resultados das análises.

Os valores de Is apresentados por todas as áreas se encontram baixos, indicando um solo altamente impactado e com alta perda de carbono orgânico. Segundo Adesodun et al. (2015), valores abaixo de 5% indicam alto impacto; entre 5-7% indicam alto risco de degradação estrutural; acima de 7% indicam baixo risco de degradação. Analisando as áreas,

somente a de “mata” apresenta valores absolutos de Is maiores que 7%, ilustrando baixo risco de erosão, fato este intimamente relacionado ao porte da vegetação presente. Apesar disso, somente “voçoroca” obteve valores estatisticamente diferentes das demais áreas.

Os altos valores das variáveis indicadoras da agregação, como DMG, DMP, agregados 8-2mm, podem estar mascarados em função da alta pedregosidade presente no solo dessas áreas. Com altos valores em todas as áreas, a pedregosidade não foi importante na separação das mesmas na ACP, apesar de ter sido diferente entre elas ( $F(4,49) = 6,367$ ;  $p < 0,001$ ) e importante principalmente em “Eucalipto”, “mata” e “campo”, que foram as menos antropizadas (Figura 3A). Na Figura 3B, pode-se verificar a alta correlação entre os agregados  $> 2$  mm e pedregosidade, confirmando que parte destes é composta por partículas com diâmetro da ordem de cascalho (2- 20 mm). No entanto, isto ocorreu apenas para a camada superficial, o que pode explicar o porquê de a pedregosidade não ter sido significativa na distinção dos ambientes, como mostra a ACP (Figura 2).



**Figura 3.** Apresentação dos valores médios de Pedregosidade (%) para cada área estudada (A); onde os pontos representam os valores médios e a medida de dispersão, o desvio padrão e de dispersão entre os teores de Agregados 8-2mm e Pedregosidade (B), no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Belo Horizonte-MG, Brasil.

Na tabela 5 podem ser observadas as correlações entre os indicadores de agregação do solo e alguns atributos dos mesmos. Houve uma alta correlação positiva e significativa entre a matéria orgânica e os indicadores de agregação. A matéria orgânica está intimamente

relacionada a todos os atributos físicos do solo (Yang et al., 2014), atuando em todas as fases do processo de agregação, conferindo maior estabilidade a estes por ficar retida em seus macroagregados (Toma et al., 2011), destacando-se nas áreas de “mata”, “Eucalipto” e “campo” (tabela 4). É importante relatar a ausência de correlação significativa entre as frações granulométricas e os indicadores de agregação, principalmente a fração argila (tabela 5), que é essencial para a agregação por apresentar maior superfície específica e cargas elétricas (Marchuk et al., 2013). A área de “mata” apresentou os menores teores de argila (tabela 1) e, mesmo assim, bons resultados de agregação (tabela 4). Considerando a alta pedregosidade nessa área e também em Eucalipto (figura 3), os bons resultados poderiam estar mascarados; no entanto, estas possuem também altos teores  $Al^{3+}$  (tabela 2), um dos principais cátions flocculantes e importante na agregação do solo, mostrando, dessa forma, resultados de DMG, DMP semelhantes ao Is, indicando que a pedregosidade teve menor influência no resultado (tabela 5).

**Tabela 5.** Resultados das Análises de Correlação entre as variáveis obtidas de amostras de solo das áreas estudadas, no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Belo Horizonte-MG, Brasil. São apresentados o coeficiente de correlação  $R^2$  e o valor de  $p$ . Correlações significativas, com  $p < 0.05$ , são apresentadas em negrito.

Variável	DMP	DMG	IEA	Is	Agregados > 2 mm
MOS	<b><math>R^2=0,644</math></b> <b><math>p &lt; 0,001</math></b>	<b><math>R^2=0,673</math></b> <b><math>p &lt; 0,001</math></b>	<b><math>R^2=0,702</math></b> <b><math>p &lt; 0,001</math></b>	<b><math>R^2=0,922</math></b> <b><math>p &lt; 0,001</math></b>	<b><math>R^2=0,653</math></b> <b><math>p &lt; 0,001</math></b>
Argila	$R^2=-0,178$ $p = 0,216$	$R^2=-0,173$ $p = 0,229$	$R^2=-0,058$ $p = 0,687$	$R^2=-0,205$ $p = 0,888$	$R^2=-0,201$ $p = 0,160$
Silte	$R^2=0,051$ $p = 0,722$	$R^2=0,052$ $p = 0,716$	$R^2=0,041$ $p = 0,775$	$R^2=-0,237$ $p = 0,097$	$R^2=0,076$ $p = 0,596$
Areia	$R^2=0,179$ $p = 0,214$	$R^2=0,170$ $p = 0,238$	$R^2=0,019$ $p = 0,892$	<b><math>R^2=0,406</math></b> <b><math>p = 0,030</math></b>	$R^2=0,173$ $p = 0,229$
Pedregosidade	<b><math>R^2=0,357</math></b> <b><math>p = 0,0110</math></b>	<b><math>R^2=0,342</math></b> <b><math>p = 0,0150</math></b>	<b><math>R^2=0,294</math></b> <b><math>p = 0,0380</math></b>	<b><math>R^2=0,297</math></b> <b><math>p = 0,0360</math></b>	<b><math>R^2=0,333</math></b> <b><math>p = 0,0180</math></b>

### 3.6 - Conclusão

Há um padrão de distinção em relação aos atributos indicadores de qualidade física do solo, entre as áreas de “voçoroca”, das de “mata” e “Eucalipto”; todavia, não há essa distinção para “Eucalipto” e “mata”. As áreas de “mata” e “Eucalipto” podem ser

consideradas mais estáveis, em relação à estabilidade da estrutura do solo, comparadas com as áreas de “voçoroca”, “raspada” e “campo”. Todas as áreas estudadas são altamente pedregosas; no entanto, esse atributo não influenciou na distinção das áreas, conforme observado pela ACP. A matéria orgânica exerceu papel fundamental na manutenção da estabilidade dos agregados nesses ambientes.

### 3.7 – Referências

ADESODUN, J. K. et al. Carbon-Nitrogen Stocks and Structural Stability of a Tropical Loamy Sand Soil as Influenced By *Thitonia diversifolia* (L.) and other Fertilizers. **International Journal Of Soil Science**, n. 1816-4978, 2015.

BARROS, D. A. et al. Soil physical properties of high mountain fields under bauxite mining. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 5, p. 419–426, 2013.

BREVIK, E. C. et al. The interdisciplinary nature of soil. **Soil**, v. 1, n. 1, p. 117–129, 2015.

BRUUN, T. B. et al. Organic Carbon Dynamics in Different Soil Types After Conversion of Forest To Agriculture. **Land Degradation & Development**, 2013.

CARVALHO, R. P. B. Contributions of geosystems analysis in the recovery of areas degraded by mining activities. **Caderno de Geografia**, v. 21, n. 36, p. 13–28, 2011.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A L. Estabilidade dos Agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num latossolo roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 3, p. 527–538, 1998.

DE VRIES, F. T. et al. Soil food web properties explain ecosystem services across European land use systems. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 35, p. 14296–14301, 2013.

DORGBETOR, W. H. K. et al. Evaluation of Quality of Some Rehabilitated Mined Soils within the AngloGold-Ashanti Concession in Ghana. **International Journal of Geosciences**, v. 03, n. 01, p. 50–61, 2012.

DUCHICELA, J. et al. Soil aggregate stability increase is strongly related to fungal community succession along an abandoned agricultural field chronosequence in the Bolivian

Altiplano. **Journal of Applied Ecology**, v. 50, n. 5, p. 1266–1273, 2013.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2<sup>o</sup>. ed. Rio de Janeiro - RJ: Documento 182, Embrapa Solos, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Embrapa Produção de Informação, 2011.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. third ed. Rio de Janeiro - RJ: Embrapa Solos, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Embrapa Produção de Informação, 2013.

GILLER, K. E. et al. **Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function** *Applied Soil Ecology*, 1997.

GOMIDE, P. H. O.; SILVA, M. L. N.; SOARES, C. R. F. S. Atributos físicos, químicos e biológicos do solo em ambientes de voçorocas no município de lavras - MG. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 35, n. 2, p. 567–577, 2011.

GUIMARÃES, J. C. C. et al. Cost analysis and ecological benefits of environmental recovery methodologies in bauxite mining. **Revista Cerne**, v. 19, n. 1, p. 9–17, 2013.

ISLABÃO, G. O. et al. Characterization of Soil Chemical Properties of Strawberry Fields Using Principal Component. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, n. 1, p. 168–176, 2013.

JOLLIFFE, L. T. **Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science** *Journal of the American Statistical Association*, 2008.

JÚNIOR, E. B. et al. Intervalo Hídrico Ótimo e Grau de Compactação de um Latossolo Vermelho Após 30 Anos Sob Plantio Direto. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, v. 36, n. 3, p. 971–982, 2012.

LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; SILVA, S. A. Distribuição Espacial da Matéria Orgânica, Grau de Flocculação e Argila Dispersa em Água em Área de Vegetação Natural em regeneração e Pastagem. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 539–546, 2013.

MARCHUK, A.; RENGASAMY, P.; MCNEILL, A. Influence of organic matter, clay mineralogy, and pH on the effects of CROSS on soil structure is related to the zeta potential of the dispersed clay. **Soil Research**, v. 51, p. 34–40, 2013.

MASTO, R. E. et al. Selection of bioindicators in coal-contaminated soils of Dhanbad, India.

**Environmental Earth Sciences**, v. 64, n. 4, p. 1107–1115, 2011.

MASTO, R. E. et al. Assessment of environmental soil quality around Sonepur Bazari mine of Raniganj coalfield, India. **Solid Earth**, v. 6, n. 3, p. 811–821, 2015.

MILDER, A. I.; FERNÁNDEZ-SANTOS, B.; MARTÍNEZ-RUIZ, C. Colonization Patterns Of Woody Species On Lands Mined For Coal In Spain: Preliminary Insights For Forest Expansion. **Land Degradation and Development**, v. 24, n. February 2011, p. 39–46, 2013.

MOEBIUS-CLUNE, B. N. et al. Long-term soil quality degradation along a cultivation chronosequence in western Kenya. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 141, n. 1-2, p. 86–99, 2011.

PLAZA, C. et al. Physical, chemical, and biochemical mechanisms of soil organic matter stabilization under conservation tillage systems: A central role for microbes and microbial by-products in C sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 57, p. 124–134, 2013.

PORTELLA, C. M. R. et al. Soil aggregation under different management systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 6, p. 1868–1877, 2012.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

REYNOLDS, W. D. et al. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 316–330, 2007.

ROCHA, J. H. . et al. Reflorestamento e Recuperação de Atributos Químicos e Físicos do Solo. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 299–306, 2015.

ROLIM, S. G. et al. Classificação climática de koppen e de thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007.

SAMPAIO, E. V. S. B.; COSTA, T. L. Estabilidade de Agregados em Diferentes Sistemas de Uso e Manejo no Município de Reserva-PR. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 06, p. 1275–1291, 2011.

SILVA, B. M. et al. Índices no diagnóstico da qualidade estrutural de latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 338–345, 2012.

SILVA, E. A. et al. Increasing doses of agricultural gypsum, aggregate stability and organic carbon in Cerrado Latosol under Coffee crop. **Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 25 – 32, 2013.

SIX, J.; PAUSTIAN, K. Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 68, p. A4–A9, 2014.

TOMA, R. S.; COOPER, M.; TAVARES, M. F. Temporal evolution of soil hydro-physical behavior of an agroforestry system on Ribeira Valley – SP. **Scientia Florestalis**, p. 237–248, 2011.

TORRES, J. L. R. et al. Atributos Físicos De Um Latossolo Vermelho Cultivado Com Plantas De Cobertura, Em Semeadura Direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 2, p. 428–437, abr. 2015.

YANG, F. et al. Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 3086–3093, 2014.

ZORNOZA, R. et al. Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. **Soil**, v. 1, n. 1, p. pp. 173–185, 2015.

#### **4. ARTIGO 2**

**DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E QUALIDADE DO SOLO SOB DIFERENTES  
USOS NO QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS, BRASIL**



#### **4.1 - Resumo**

A cobertura vegetal atua na manutenção do equilíbrio entre os atributos químicos, físicos e biológicos, além da proteção superficial do solo. A descoberta de minério em Minas Gerais intensificou a exploração e a degradação destes solos, na busca por minerais, numa região hoje chamada de Quadrilátero Ferrífero. Foram realizadas análises visuais e coletadas amostras indeformadas de solo com uso do amostrador de Uhland no Parque Fort Lauderdale e no Parque Municipal Serra Do Curral, situados no complexo Serra do Curral, que está no perímetro da cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, e faz parte do Quadrilátero Ferrífero. As amostras foram retiradas de cinco áreas com cobertura vegetal distintas, desde uma com total cobertura vegetal, fazendo um contínuo de degradação, até outra com avançado estágio de impactação; a fim de se relacionar parâmetros físicos do solo com estágios diferentes de degradação do mesmo. As áreas que se destacaram positivamente e negativamente em relação à maioria dos atributos avaliados foram “campo” e “mata”, respectivamente. Os altos teores de Pedregosidade, MOS, Silte, Argila e Areia podem ter influenciado nos resultados, principalmente nas áreas de “mata” e “Eucalipto”. A avaliação visual isoladamente não é eficiente na determinação da qualidade de um solo, no entanto corroborou com as análises laboratoriais. Tais estudos são importantes à melhoria do manejo do solo e à manutenção da qualidade ambiental em áreas pós mineração.

**Palavras-Chave:** Degradação do solo, Mineração, Água Disponível às plantas.

#### **4.2 - Abstract**

The vegetation acts in maintaining the balance between the chemical, physical and biological attributes, beyond the superficial soil protection. The ore discovered in Minas Gerais intensified the exploitation and degradation of these soils in the search for minerals, a region now called the Iron Quadrangle. Undisturbed soil visual analysis and were held collected with use of the sampler Uhland in Park Fort Lauderdale City Park Serra Do Curral, located in the Serra do Curral, which is on the perimeter of the city of Belo Horizonte, Minas Gerais and is part of Quadrangle. Samples were taken at five different areas with vegetation, from a plant with full coverage, making a continuous degradation until another advanced stage impact to the soil, for relating the physical parameters at different stages of degradation thereof. The areas that stood out positively and negatively, compared to most of the evaluated attributes were "field" and "kill" respectively. The high stoniness content, MOS, silt, clay and sand may have influenced the results, especially in the areas of "kills" and "Eucalyptus". The visual evaluation alone is not effective in determining the quality of the soil, however corroborated by laboratory analyzes. Such studies are important to improve soil management and maintenance of environmental quality, in post mining areas.

**Keys words:** Land degradation, Mining, Water available to plants.

### 4.3 – Introdução

O centro-sul do Estado de Minas Gerais, a partir do ano 1950, passou a ser chamado de Quadrilátero Ferrífero, pela alta quantidade de pedras preciosas e minerais metálicos encontrados; ocupa aproximadamente 7000 Km<sup>2</sup> e é posicionado em serras com altitudes variando entre 1000 e 2000 metros. Sua vegetação é bastante heterogênea, indo de Floresta Estacional Semidecidual, transição entre Floresta e Cerrado, a Campos Cerrados e Campos Rupestres. Sua rede hidrográfica é composta por duas bacias: a do rio São Francisco e a do Rio Doce (Nunes et al., 2012) e as atividades mais desenvolvidas na região, além da mineração, são o turismo, a metalurgia e a siderurgia.

O Quadrilátero Ferrífero se destaca pelo seu potencial mineral; entretanto, a mineração gera muitos impactos diretamente relacionados ao seu processo, principalmente quando não planejada ambientalmente (Carvalho, 2011). Essa atividade pode proporcionar impactos observáveis direta e indiretamente, como alterações químicas, biológicas, físicas, estruturais e estéticas- dependendo do material de origem-, geologia, fatores físicos e químicos, vegetação, manejo adotado e tipo de mineral extraído (Longo et al., 2011).

A base dos recursos e habitats da maioria dos organismos terrestres é o solo, que tem como função também a manutenção de ciclos nutricionais e hidrológicos, bem como a proteção de águas subsuperficiais (Ferreira, 2010). No Brasil, seu uso se intensificou a partir do século XVIII, com o segundo ciclo da cana-de-açúcar, e principalmente com o pastejo de gado de corte e de leite, o que aumentou não só a degradação de áreas já exploradas, mas também a abertura de novas áreas agrícolas. A presença de vegetação ajuda na cobertura do solo, na infiltração de água, na diminuição da evaporação, no aumento da umidade e na redução do escoamento superficial (Frota & Nappo, 2012).

A degradação do solo é constante em solos mal manejados, principalmente onde se faz uso de queimadas e o solo fica descoberto, sofrendo ação erosiva (Fu et al., 2011). O processo se inicia com a retirada da cobertura vegetal e, posteriormente, ocorre o salpicamento (desprendimento das partículas) a partir do impacto das gotas de chuva e da percolação superficial (Liu et al., 2015). A qualidade física do solo se manifesta de

diversas maneiras e a degradação reduz sua qualidade física (Dexter, 2004). Há uma dinâmica natural da estrutura do solo, sendo que qualquer alteração dos poros vai acarretar alterações importantes nos processos e na dinâmica da água que ocorrem neste (Siqueira et al., 2014).

Os métodos laboratoriais de avaliação do solo são bastante precisos; no entanto, devido à necessidade de uma rápida avaliação deste para planejamento agrícola, adota-se, em alguns casos, a Avaliação Visual (AVS) do mesmo, que é uma importante ferramenta utilizada atualmente que possibilita identificar e aprimorar os sistemas de manejo e preservação ambiental (Niero et al., 2010). Shepherd (2000) definiu as propriedades visuais que indicam qualidade do solo e os métodos para se fazer tal avaliação, a fim de se obter rapidamente informações sobre a qualidade do ambiente. O manual sugere índices de qualidade do solo, através da atribuição de notas: 0 (ruim), 1 (moderada), 2 (boa), a partir do observado, comparando às fotos presentes no manual. O solo recebe um valor para cada atributo e, a partir da soma das notas preenchidas em um cartão de pontuação, obtêm-se o Índice Visual.

A retenção de água no solo é uma importante propriedade de regulação da água no solo, de sua disponibilidade, da evaporação potencial e da redistribuição, tendo, assim, importantes funções nos processos ecológicos e hidrológicos no ecossistema terrestre (Yang et al., 2014). A partir da Curva de Retenção de Água (CRA) pode-se determinar a Porosidade e sua distribuição por tamanho (em macro e microporos, por exemplo), Capacidade de Aeração ( $AC_b$ ), Capacidade relativa de água (RWC) (Reynolds et al., 2007), Índice S (Dexter, 2004), Capacidade do solo de disponibilizar água para a planta (CAD) ou, alternativamente, o intervalo hídrico ótimo (Silva et al., 1994) ou, ainda, a energia integral ( $E_i$ ) (Minasny & Mcbratney, 2003), dentre outros atributos que têm sido utilizados como indicadores da qualidade física do solo (Asgarzadeh et al., 2011; Reynolds et al., 2002, 2009).

A  $AC_b$  é um índice de aeração do solo (capacidade de aeração da matriz do solo), onde um  $AC_b$  de  $12 - 0,17 \text{ m}^3\text{m}^{-3}$  na zona radicular podem ser requeridos para rendimento máximo da cultura (Reynolds et al., 2008).

O índice S é um importante parâmetro para avaliar a qualidade física dos solos

(Dexter, 2004), sendo dependente da curva característica de retenção de água (CRA) e representando a inclinação no ponto de inflexão. Segundo Li et al.(2011), os atributos de qualidade física do solo estão inter-relacionados e refletem sua qualidade estrutural; no entanto, a medição de todos os atributos é laboriosa, tornando o índice S o mais adequado na determinação global da qualidade do mesmo. O índice S é usado para representar a distribuição dos tamanhos de poros mais frequentes, tornando possível, assim, a comparação direta entre diferentes áreas (Silva et al., 2012a). Um índice S de 0,035 representa um solo com boa qualidade; contudo, índices abaixo de 0,020 estão associados a uma baixa qualidade física (Dexter, 2004). A densidade do solo ( $D_s$ ) é função da estrutura do solo, tendo estreita correlação com sua porosidade e retenção de água (Ruehlmann & Korschens, 2009).

A quantidade de água no solo disponível às plantas afeta o crescimento radicular, devendo a energia necessária para remoção ( $E_{i100}$ ) ser considerada. O conceito de energia integral ( $E_i$ ) é usado para medir a energia necessária para a planta absorver água com teor distinto ou intervalo de sucção matricial (Asgarzadeh et al., 2014). Asgarzadeh et al. (2011) observaram relações significativas entre  $E_{i100}$  e teores de argila ou areia, indicando que o  $E_i$  está relacionado à textura do solo.

CAD é a capacidade do solo em reter água e o tornar disponível às plantas. Em solos de textura fina, a  $CAD \geq 0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  é considerada ideal para o máximo crescimento radicular, enquanto  $0,15 \leq CAD < 0,20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  é “bom”,  $0,10 \leq CAD < 0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  é limitante e  $CAD < 0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  é caracterizada como de solos incapazes em reter água (Verdonck et al., 1983)

A RWC expressa a capacidade do solo em armazenar água e ar em relação à Porosidade Total ( $\theta_s$ ), sendo que seu equilíbrio é atingido quando estiver entre os índices  $0,6 \leq RWC \leq 0,7$  (Reynolds et al., 2008). O índice RWC está relacionado à atividade microbiana no solo, sendo que baixos valores ( $RWC < 0,6$ ) reduzem a atividade, por não haver água suficiente, e altos valores ( $RWC > 0,7$ ) também reduzem a atividade, pela aeração limitada (Reynolds et al., 2002).

As variáveis mencionadas buscam refletir a qualidade física dos solos estudados e fazem uma separação dessas áreas, sendo, portanto, importantes ferramentas na

caracterização de áreas naturais e agrícolas (Freitas et al., 2012). Outra ferramenta estatística importante é a Análise de Componentes Principais (ACP), que faz a separação das variáveis mais importantes, entre todas as avaliadas, na distinção destas áreas. Assim, o uso desta se torna importante não só na distinção entre as áreas, mas também na valoração de cada variável analisada, explicitando a diferença entre os tratamentos (Islabão et al., 2013).

O objetivo deste estudo foi caracterizar as propriedades físicas e modelar a curva de retenção de água de cinco áreas com diferentes coberturas vegetais na região do Parque Municipal Fort Lauderdale e no Parque Municipal Serra do Curral, em Belo Horizonte - MG, que fazem parte do Quadrilátero Ferrífero.

#### **4.4 - Material e Métodos**

Este estudo foi realizado nos parques municipais Fort Lauderdale e Serra do Curral, que fazem parte do complexo Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, situados na cidade de Belo Horizonte - MG. Tal região encontra-se nas coordenadas 19°57'41.98"S e 43°55'12.30"O. O clima é o Cwa (Rolim et al. 2007) e o solo varia entre Neossolo Regolítico/Litolítico e Cambissolo Húmico (Jacomine, 2009). As áreas avaliadas variaram em relação à sua cobertura vegetal, sendo uma área descoberta, com mineração superficial de Minério de Ferro (aqui denominada de “raspada”), uma área de borda de voçoroca (denominada “voçoroca”), uma área de Campo Rupestre (fisionomia típica do Bioma de Cerrado), uma área de mata (fisionomia de Floresta Estacional Semidecidual) e uma área com plantio de Eucalipto (Figura 1).



**Figura 1.** Ilustração fotográfica das diferentes áreas (raspada, A; voçoroca, B; campo, C; mata, D e; Eucalipto, E; área do diagnóstico, F) onde foram feitas as amostragens, no Parque Fort Lauderdale e no Parque Municipal Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, Belo Horizonte - MG, Brasil.

Adjacente a essas áreas ocorrem minas ativas e inativas de cascalho e minério, sendo que algumas delas sofreram mineração para obtenção principalmente de minério,

cerca de 18 anos atrás. É corriqueira a ocorrência de queimadas nestas áreas, fato agravado pelo tipo de vegetação e proximidade à cidade, ocorrendo, assim, ciclos contínuos de descobrimento do solo e mudança de seus atributos físicos. A tabela 1 mostra a caracterização física do solo nas diferentes áreas, com resultados da análise granulométrica.

**Tabela 1.** Teores de Argila, Silte e Areia para a camada de 0-10 em cinco diferentes áreas no Parque Fort Lauderdale e no Parque Municipal Serra do Curral, Quadrilátero Ferrífero, Belo Horizonte - MG, Brasil.

Áreas	Profundidade (cm)	Teor (%)		
		Argila	Silte	Areia
Raspada	0-10	40,55	46,91	12,54
Voçoroca	0-10	17,05	54,38	28,56
Campo	0-10	28,54	45,74	25,72
Mata	0-10	9,13	61,86	29,02
Eucalipto	0-10	32,66	24,04	43,30

Foram realizadas amostragens, em março de 2015, em cada área e de modo aleatório, seguindo um delineamento inteiramente casualizado, sendo cinco áreas, com cinco repetições em cada, coletadas na camada de 0-10 cm. Foram retiradas amostras indeformadas com o amostrador de Uhland (Blake & Hartge, 1986), utilizando-se cilindros de aço com altura e diâmetros previamente aferidos. Posteriormente, as amostras foram envolvidas em filme plástico para preservar sua estrutura.

As amostras foram pesadas, saturadas em água destilada por capilaridade durante 48h e novamente pesadas; após, foram submetidas às tensões de 10, 20, 40, 60, 80, 100, 330, 1000, 5000 e 15000hPa em placas porosas para extração sequencial de água retida no solo após equilíbrio em cada tensão. Foi utilizado o conjunto mesa de tensão automatizada da marca ECOTECH para tensões de até 100 hPa e as demais tensões alcançadas com Câmara de Richards de média e alta pressão. Após atingirem o equilíbrio em cada tensão aplicada foi realizada a pesagem e, posteriormente, a secagem em estufa a 105 °C por 48h.

A Densidade do Solo ( $D_s$ ) foi determinada pelo método do anel volumétrico e a Densidade de Partículas ( $D_p$ ) pelo método do balão volumétrico segundo Embrapa (2011). A porosidade total foi determinada pelo conteúdo de água na condição de saturação( $\theta_s$ ). A distribuição de poros por tamanho foi determinada tendo como diâmetro limítrofe 0,05 mm, obtido pelo conteúdo de água em equilíbrio a 60 hPa para

separação de macro e microporos. Nesta situação, a percentagem de água retida nas amostras após o equilíbrio correspondeu à microporosidade, sendo a macroporosidade obtida por diferença (Grohmann, 1960). A quantidade de poros bloqueados (PB) foi obtida por metodologia segundo Schjønning et al. (1999).

As curvas de retenção de água foram ajustadas empregando-se o modelo de van Genuchten (1980) com restrição de Mualem [ $m = 1 - (1/n)$ ], mediante o software RETC (van Genuchten et al., 1991). A capacidade de campo (CC) foi estimada pela umidade em equilíbrio à tensão 100 hPa, conforme sugerido por Klein (2014). O ponto de murcha permanente (PMP) foi considerado como a umidade associada à tensão de 15000 hPa. A capacidade de água disponível (CAD) do solo para a planta foi calculada pela diferença entre a CC e a PMP.

A capacidade de aeração ( $AC_b$ ) é resultado da interação solo-ar-água-planta-microbiota do solo e é obtida pela equação:  $AC_b = \theta_s - CC$ . A RWC representa a capacidade do solo em reter água em relação ao volume total de poros e é obtida por:  $RWC = CC/\theta_s$ , segundo Reynolds et al. (2008).

O conteúdo de água no solo no ponto de inflexão ( $\theta_{INFL}$ ) foi obtido pela equação preconizada por Dexter & Bird (2001) a partir da curva de retenção de água no solo modelada segundo van Genuchten (1980), onde:  $\theta_{sat}$  é o conteúdo de água na amostra saturada;  $\theta_{res}$  é o teor de água na tensão de 15000 hPa e  $m$  são parâmetros de ajuste do modelo.

$$\theta_{INFL} = (\theta_{sat} - \theta_{res})(1+1/m)^{-m} + \theta_{res}$$

O  $\theta_{INFL}$  tem sido associado ao conteúdo de água na CC em solos tropicais (Ferreira & Marcos, 1983; Silva et al., 2014); assim, seu uso no cálculo da capacidade de água disponível do solo também foi avaliado, sendo obtido por:  $CAD_{INFL} (\theta_{INFL} - \theta_{PMP})$ , conforme Silva et al. (2014).

Para cálculo do índice S, inclinação da CRA no ponto de inflexão, e da Energia integral necessária para extração de água do solo na faixa de umidade delimitada pela CAD ( $E_{i100}$ ,  $J.kg^{-1}$ ) foi utilizado o software SAWCal (Asgarzadeh et al., 2014), conforme metodologia preconizada por Dexter (2004) e Asgarzadeh et al. (2011).

Devido à alta pedregosidade das áreas, foi feita a avaliação destas, para auxiliar a



interpretação das análises, e determinada à matéria orgânica do solo (MOS) por oxidação da matéria orgânica com  $K_2Cr_2O_7$  em meio sulfúrico, tendo todas estas observações sido feitas segundo Embrapa (2011).

Foram avaliados os diferentes ambientes como fator “área”, na profundidade de 0-10cm. Por meio de uma análise de componentes principais (ACP) determinou-se os atributos físicos do solo de maior discernimento entre as áreas amostradas, sendo que tais atributos consistiram das variáveis dependentes, a se fazer o teste da hipótese nula de igualdade de parâmetros entre as regiões, usando-se um modelo de análise de variância com um fator (*one-way* ANOVA).

Não havendo normalidade e/ou homogeneidade das variâncias pelos testes de *Shapiro-Wilk* e *Levene*, foi realizada transformação Box-Cox para sua obtenção. Nos testes *a posteriori* usou-se o Scott-Knott, sendo considerado o nível de 5% de significância. As análises foram realizadas utilizando o Software R Core Team (2014).

As avaliações visuais seguiram metodologia de Niero et al. (2010). No presente trabalho foram utilizados métodos e planilhas segundo Shepherd (2000). Para cada atributo foi concedida uma nota de 0 a 2, sendo: 0 (pobre), 1 (moderada) e 2 (boa), comparando o que foi visto às fotos presentes no guia de campo do autor. A pontuação foi flexível em campo; assim, quando a visualização não se alinhou claramente com uma das fotografias, mas se situou no intervalo, foram atribuídos valores intermediários, como 0,5 e 1,5. Foram realizadas 3 avaliações para cada uma das cinco áreas estudadas.

A avaliação visual da estrutura partiu da análise de um “torrão” de 0,20cm de lado, aproximadamente. Deixou-se o torrão cair em uma bandeja plástica, a partir de uma altura de 1m, por até 3 vezes, caso não houvesse ocorrido desagregação nas anteriores. Se já na primeira tentativa o torrão tivesse se quebrado em unidades pequenas, não haveria repetição do processo. Foram movidas as frações grosseiras e finas para as extremidades diferentes da bandeja, obtendo, assim, um gradiente do tamanho comparado ao das fotografias do manual de campo. No mesmo torrão foi avaliada a presença de mosqueados. A porosidade visual foi realizada a partir da exposição da face originada da separação das unidades estruturais, comparando-se às fotos do manual; no mesmo torrão foi avaliada a cor. A avaliação da cobertura vegetal foi realizada a partir do observado de cobertura morta e restos de culturas sobre a

superfície do solo. A avaliação do relevo de superfície partiu da observação da dificuldade de trânsito sobre as áreas, comparando-se ao descrito no manual.

Para avaliação do índice de qualidade do solo, cada atributo recebeu uma nota e ponderação em função de sua importância, conforme metodologia descrita por Shepherd (2000). A soma dos valores obtidos junto à ponderação classificou o solo em: pobre (soma menor que 10), moderado (soma entre 10 e 25) e bom (valores maiores que 25).

Foram realizados os testes *a priori*, *Shapiro-Wilk* e *Levene*, para investigação dos pressupostos. Nos testes *a posteriori* usou-se o Scott-Knott, sendo considerado o nível de 5% de significância. As análises foram realizadas utilizando-se o Software R Core Team (2014).

#### **4.5 – Resultados e Discussão**

Os três primeiros eixos da ACP produziram uma explicação acumulada de 82,76% da variação dos atributos físicos do solo para as áreas estudadas (tabela 2), o que, segundo Jolliffe (2008), já é uma boa explicação ao fenômeno que foi estudado.

O primeiro eixo explicou 41,46% do efeito, sendo as variáveis mais importantes na distinção entre as áreas: - positivamente:  $\theta_s$ , Macroporosidade, ACb, S,  $\theta_{INFL}$ , CAD<sub>INFL</sub>; e - negativamente: Ds, Poros Bloqueados, RWC, com as cargas respectivas de 0.84, 0.85, 0.86, 0.93, 0.79, 0.91, -0.66, -0.73 e -0.63 (tabela 2, figura 2).

O segundo eixo contribuiu com 26,22% da explicação, sendo que as variáveis que mais contribuíram para a distinção das áreas foram: - negativamente: Microporosidade, RWC, CC, CAD, Ei100, com as cargas respectivas de -0.98, -0.68, -0.98, -0.69 e 0.64 (tabela 2, figura 2).

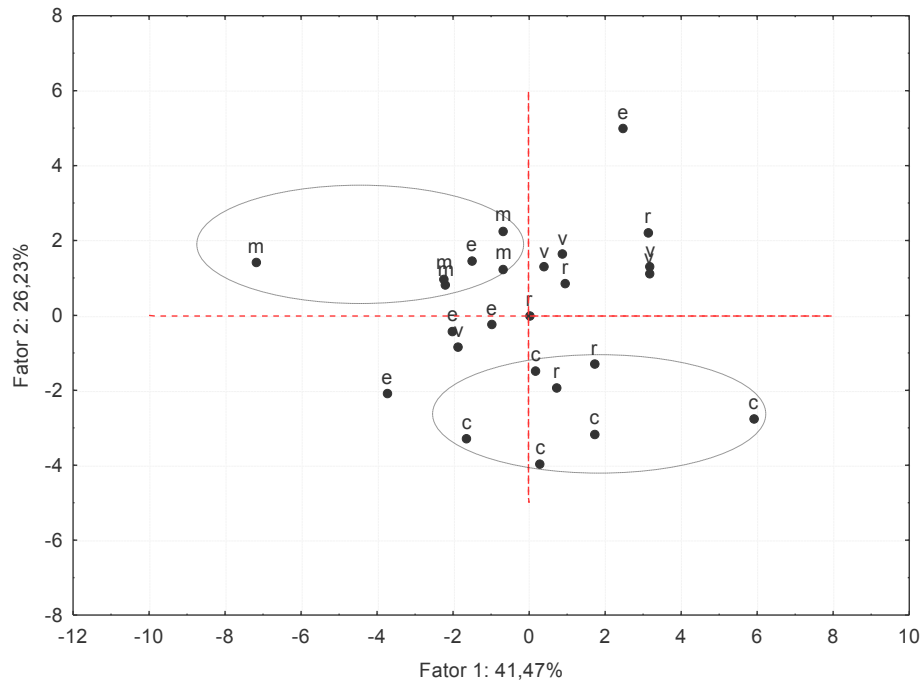
O terceiro eixo contribuiu com 15,08% da explicação e as variáveis que contribuíram na distinção das áreas foram: - negativamente: MOS, Pedregosidade e Densidade de Partículas, com as cargas respectivas de -0.73, -0.63 e -0.72.

**Tabela 2.** Análise de Componentes Principais efetuada com as variáveis obtidas de amostras de solo das áreas estudadas, no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Quadrilátero Ferrífero, Belo Horizonte - MG, Brasil.

Variável	1	2	3
Ds Mg m <sup>-3</sup>	<b>-0.66</b>	0.21	-0.36
θ <sub>s</sub> (%)	<b>0.84</b>	-0.41	-0.29
Macroporosidade (%)	<b>0.85</b>	0.32	-0.35
Microporosidade (%)	0.10	<b>-0.98</b>	0.03
Poros Bloqueados (%)	<b>-0.73</b>	0.22	0.28
PMP (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	-0.49	-0.59	-0.38
ACb (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	<b>0.86</b>	0.29	-0.38
CC (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.08	<b>-0.98</b>	0.08
CAD (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	0.50	<b>-0.69</b>	0.40
RWC	<b>-0.63</b>	<b>-0.68</b>	0.32
S	<b>0.93</b>	0.02	0.13
θ <sub>INFL</sub>	<b>0.79</b>	-0.44	-0.25
CAD <sub>INFL</sub> (m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup> )	<b>0.91</b>	-0.16	-0.07
Ei100 (J/Kg)	-0.50	<b>-0.64</b>	-0.17
Pedregosidade (%)	-0.38	0.10	<b>-0.63</b>
MOS (%)	-0.23	-0.28	<b>-0.73</b>
Densidade de Partículas Mg m <sup>-3</sup>	-0.40	-0.17	<b>-0.72</b>
Proporção de Variância Explicada	41,46%	26,22%	15,08%

\*Cargas maiores do que 0.60 são apresentadas em negrito e demonstram a importância diferencial das variáveis em cada componente, 1, 2 e 3. Total do modelo explicado com os três primeiros componentes: 82,76%.

Os valores representam a projeção de cada amostra, considerando o peso de determinação do efeito (figura 2). Pode-se observar que não houve distinção entre as áreas em relação ao primeiro eixo; já para o segundo, visualiza-se uma separação espacial entre “campo” e “mata”. Para as demais áreas não há uma distinção pelos atributos avaliados.



**Figura 2.** Projeção dos escores utilizando-se os atributos físicos das áreas estudadas, no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Quadrilátero Ferrífero, Belo Horizonte - MG, Brasil. Os símbolos **r**, **v**, **c**, **m**, **e** distinguem, respectivamente, os níveis do fator área “raspada”, “voçoroca”, “campo”, “mata” e “Eucalipto”.

A tabela 3 mostra, para os parâmetros importantes selecionados pela ACP (tabela 2), os resultados dos testes de hipótese nula de igualdade dos parâmetros avaliados para cada região. Nela estão apresentados os valores médios para a camada de 0-10 cm. As áreas amostradas estão localizadas em um ambiente declivoso, antropizado, compactado e propício à erosão; dessa forma, possuem uma heterogeneidade de resultados de seus atributos. Entretanto, os CVs (%) não são altos, com exceção do atributo Poros Bloqueados, que apresentou um CV (146.69), considerado muito alto. A área de “mata” apresentou um maior valor de Densidade do solo (Ds) ( $1.930 \text{ mg m}^{-3}$ ), seguida de “Eucalipto” ( $1.700 \text{ mg m}^{-3}$ ) e, posteriormente, as demais, que não se diferenciaram entre si (tabela 3).

**Tabela 3.** Testes de ANOVA (valores de F) para todas as variáveis estudadas nas diferentes áreas amostradas no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Quadrilátero Ferrífero, Belo Horizonte - MG, Brasil. Para as diferentes áreas estudadas, são apresentadas suas médias.

Variável	Estatística	P	CV (%)	Áreas				
				Voçoroca	Raspada	Campo	Eucalipto	Mata
Ds (Mg m <sup>-3</sup> )	F <sub>(4,24)</sub> =9,281	<0,001	9,31	1,500 c	1,410 c	1,530 c	1,700 b	1,930 a
θs	F <sub>(4,24)</sub> =5,649	<0,001	12,71	0,515 b	0,611 a	0,628 a	0,513 b	0,453 b
Microporosidade	F <sub>(4,24)</sub> =8,244	<0,001	15,98	0,254 b	0,280 b	0,372 a	0,250 b	0,226 b
Macroporosidade	F <sub>(4,24)</sub> =1,090	0,703	30,55	0,261 a	0,330 a	0,255 a	0,263 a	0,226 a
Poros Bloqueados	F <sub>(4,24)</sub> =1,460	0,203	146,69	-0,052 a	-0,031 a	-0,096 a	0,041 a	0,000 a
RWC	F <sub>(4,24)</sub> =0,854	0,948	22,66	0,493 a	0,456 a	0,577 a	0,471 a	0,508 a
ACb	F <sub>(4,24)</sub> =0,918	0,590	30,59	0,263 a	0,332 a	0,272 a	0,273 a	0,232 a
CC	F <sub>(4,24)</sub> =6,582	<0,001	17,06	0,251 b	0,278 b	0,356 a	0,240 b	0,220 b
CAD	F <sub>(4,24)</sub> =73,340	<0,001	1,82	0,168 b	0,143 c	0,20 a	0,086 d	0,087 d
CAD <sub>INFL</sub>	F <sub>(4,24)</sub> =2,753	0,972	23,18	0,432 a	0,407 a	0,491 a	0,352 a	0,315 a
S	F <sub>(4,24)</sub> =4,718	<0,001	28,91	0,064 a	0,070 a	0,063 a	0,043 b	0,034 b
θ <sub>INFL</sub>	F <sub>(4,24)</sub> =3,313	0,952	15,18	0,513 a	0,541 a	0,625 a	0,505 a	0,447 a
Ei100	F <sub>(4,24)</sub> =1,008	0,136	11,28	138,826a	142,486 a	157,970 a	151,024 a	149,228 a
Pedregosidade (%)	F <sub>(4,24)</sub> =1,008	0,887	17,90	51,010 b	66,460 b	71,260 a	88,270 a	78,120 a
MOS (%)	F <sub>(4,24)</sub> =1,008	0,0736	23,00	1,102 b	4,518 a	5,136 a	5,270 a	4,790 a
Dp (Mg m <sup>-3</sup> )	F <sub>(4,24)</sub> =18,37	0,051	4,41	2,798 c	3,362 b	3,274 b	3,216 b	3,536 a

\*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste Scott-Knott.

Segundo Reynolds et al. (2008), valores máximos de Ds para um bom rendimento das culturas são por volta de 0.9-1.2 mg m<sup>-3</sup> e valores acima de 1.6 mg m<sup>-3</sup> limitam o rendimento das culturas agrícolas pela alta resistência mecânica ao alongamento radicular (Drewry et al., 2008). Sendo assim, as áreas de “mata” e “Eucalipto” estudadas são enquadradas como limitantes ao crescimento de plantas.

Os menores índices de MOS foram encontrados na área de “voçoroca”, não havendo diferença significativa entre os índices das demais áreas; esta, por ter menor aporte vegetal, tem por consequência menor cobertura do solo e atividade da macro e mesofauna escassa (Schmidt et al., 2011). As maiores Ds encontradas se devem à alta Densidade de Partículas e à natureza do material de origem presente, principalmente, nas áreas de “mata” e “Eucalipto”. A Densidade de Partículas também foi maior em “mata”, sendo que não houve diferença nas demais áreas, com exceção de “voçoroca”, que obteve os piores índices. Sabe-se que a densidade do solo é uma média ponderada de todas as densidades de componentes presentes no solo, como seus minerais, seus poros, MOS e ar (Yang et al., 2014). Assim, pelo fato das áreas de “mata” e “Eucalipto” serem as de menor ação humana (mineração e queimadas), há maior quantidade de material rochoso de maior “massa”, possivelmente favorecendo maior Ds.

Em relação à  $\theta_s$ , as áreas “raspada” e “campo” apresentaram os maiores valores, não havendo diferença entre as demais (tabela 3). Silva et al. (2012b), estudando atributos do solo em áreas de cerrado, encontrou alta  $D_s$  e microporosidade, reduzida macroporosidade e baixa  $\theta_s$ , em áreas superficiais, comparadas a outras em profundidade. As áreas de “mata” e “Eucalipto”, portanto, possuem menor  $\theta_s$ , possivelmente influenciado pelos altos teores de  $D_s$  encontrados na camada de 0-10, que foi estudada (Klein & Libardi, 2000). Os teores de Silte (tabela 1) encontrados são maiores na área de “mata” e há uma correlação positiva de  $\theta_s$  com a fração areia (tabela 4), o que deve ter favorecido também a baixa  $\theta_s$  (Ghiberto et al., 2015).

Os valores de microporosidade e CC foram maiores para “campo”. Segundo Dexter (2004), os menores poros (microporos) esvaziam ou perdem água após os maiores (macroporos); no entanto, a infiltração de água no solo é mais elevada quanto maior for a quantidade de macroporos (Kumar et al., 2012). Assim, o solo da área de “campo” tende a reter mais água devido a seu alto teor de MOS e baixo teor de Areia, possibilitando uma alta CC. Segundo Reynolds et al. (2008), uma faixa ideal de CC é entre  $0.30 \leq CC \leq 0.35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ; sendo assim, somente a área de “campo” se enquadraria dentro dos padrões considerados ideais (tabela 3).

Para CAD (CC-PMP), o maior valor foi encontrado para “campo”, seguido de “voçoroca”, depois “raspada” e, posteriormente, “mata” e “Eucalipto”, que não diferenciaram entre si. Corroborando com os outros atributos, a área de “campo” é a única que se enquadraria nos limites que possibilitam bom crescimento radicular ( $CAD \geq 0.20 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), segundo Reynolds et al. (2008).

Já para o índice de qualidade física do solo (S), “campo”, “raspada” e “voçoroca” obtiveram resultados estatisticamente iguais e superiores às áreas de “mata” e “Eucalipto”, que não diferenciaram entre si. Segundo van Lier (2014), valores de S acima de 0.035 estarão no limiar mínimo de classificação de solos com boa estrutura, no entanto é necessária uma análise mais global para caracterizar áreas diferentes em relação a seus atributos físicos. A área de “mata” apresenta uma forte correlação com a fração Areia (tabela 4) de sua granulometria e seu teor de silte é alto (tabela 1), podendo ser esta a explicação para o baixo índice S encontrado.

Em relação à pedregosidade não houve diferença entre as áreas menos antropizadas-“campo”, “mata” e “Eucalipto”; contudo, tais resultados diferenciaram-nas das áreas de “voçoroca” e “raspada”. Não houve diferença significativa entre as áreas quanto aos resultados de Macroporosidade, Poros Bloqueados, RWC, ACb,  $CAD_{INFL}$ ,  $\theta_{INFL}$  e  $Ei100$ , a 5% de significância pelo teste Scott-Knott.

A tabela 4 apresenta a correlação entre MOS, Pedregosidade, Areia Silte, Argila e Densidade de Partículas com os demais atributos avaliados. Houve uma correlação significativa negativa entre Argila e  $D_s$ , e positiva entre Argila e  $\theta_s$ . Há também uma correlação negativa significativa entre Areia e  $\theta_s$ , Macroporosidade, ACb e índice S.

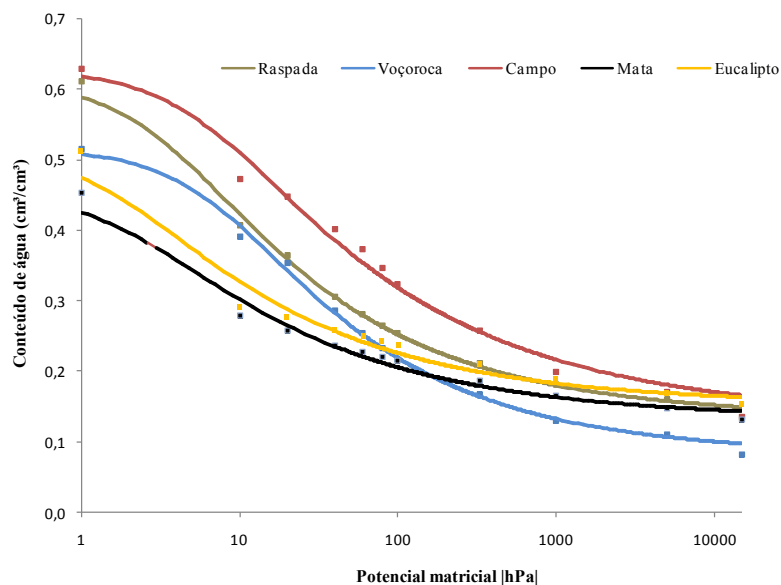
É importante destacar a ausência de correlação significativa entre a MOS e todos os atributos avaliados. Considerando o alto índice de pedregosidade e porcentagem da fração areia nas áreas de “mata” e “Eucalipto”, os resultados encontrados poderiam estar enviesados; no entanto, somente o atributo CAD teve correlação significativa com pedregosidade. Observou-se também uma correlação positiva entre Densidade de Partículas e Densidade do solo, justificando, assim, alta  $D_s$  nas áreas menos antropizadas e negativa entre Densidade de Partículas e Índice S.

**Tabela 4.** Resultados das Análises de Correlação entre as variáveis obtidas de amostras de solo das áreas estudadas, no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Quadrilátero Ferrífero, Belo Horizonte - MG, Brasil. São apresentados o coeficiente de correlação  $R^2$  seguidos do valor  $p$  para cada teste. Correlações significativas, com  $p < 0.05$ , são apresentadas em negrito.

Variável	Ds	θs	Micro	Macro	PB	RWC	ACb	CC	CAD	CAD <sub>INFL</sub>	S	θ <sub>INFL</sub>	Ei100
MOS	$R^2 = 0.250$	$R^2 = 0.100$	$R^2 = 0.215$	$R^2 = 0.06$	$R^2 = 0.015$	$R^2 = 0.123$	$R^2 = 0.024$	$R^2 = 0.176$	$R^2 = 0.198$	$R^2 = 0.091$	$R^2 = 0.292$	$R^2 = 0.131$	$R^2 = 0.369$
	$p = 0.227$	$p = 0.633$	$p = 0.300$	$p = 0.776$	$p = 0.943$	$p = 0.555$	$p = 0.907$	$p = 0.398$	$p = 0.342$	$p = 0.663$	$p = 0.157$	$p = 0.532$	$p = 0.069$
Argila	<b><math>R^2 = 0.492</math></b>	<b><math>R^2 = 0.544</math></b>	$R^2 = 0.376$	$R^2 = 0.308$	$R^2 = 0.178$	$R^2 = 0.023$	$R^2 = 0.301$	$R^2 = 0.391$	$R^2 = 0.188$	$R^2 = 0.074$	$R^2 = 0.368$	$R^2 = 0.240$	$R^2 = 0.055$
	<b><math>p = 0.012</math></b>	<b><math>p = 0.005</math></b>	$p = 0.063$	$p = 0.133$	$p = 0.394$	$p = 0.911$	$p = 0.143$	$p = 0.053$	$p = 0.366$	$p = 0.723$	$p = 0.070$	$p = 0.246$	$p = 0.792$
Silte	$R^2 = 0.198$	$R^2 = 0.191$	$R^2 = 0.274$	$R^2 = 0.004$	$R^2 = 0.075$	$R^2 = 0.128$	$R^2 = 0.000$	$R^2 = 0.275$	$R^2 = 0.060$	$R^2 = 0.147$	$R^2 = 0.021$	$R^2 = 0.056$	$R^2 = 0.235$
	$p = 0.342$	$p = 0.359$	$p = 0.185$	$p = 0.984$	$p = 0.720$	$p = 0.542$	$p = 0.997$	$p = 0.183$	$p = 0.775$	$p = 0.482$	$p = 0.920$	$p = 0.789$	$p = 0.256$
Areia	$R^2 = 0.358$	<b><math>R^2 = 0.439</math></b>	$R^2 = 0.819$	<b><math>R^2 = 0.426</math></b>	$R^2 = 0.123$	$R^2 = 0.233$	<b><math>R^2 = 0.408</math></b>	$R^2 = 0.099$	$R^2 = 0.351$	$R^2 = 0.333$	<b><math>R^2 = 0.534</math></b>	$R^2 = 0.239$	$R^2 = 0.295$
	$p = 0.079$	<b><math>p = 0.028</math></b>	$p = 0.697$	<b><math>p = 0.033</math></b>	$p = 0.555$	$p = 0.262$	<b><math>p = 0.043</math></b>	$p = 0.635$	$p = 0.085$	$p = 0.104$	<b><math>p = 0.006</math></b>	$p = 0.250$	$p = 0.152$
Pedregosidade	$R^2 = 0.365$	$R^2 = 0.172$	$R^2 = 0.130$	$R^2 = 0.089$	$R^2 = 0.205$	$R^2 = 0.001$	$R^2 = 0.065$	$R^2 = 0.163$	<b><math>R^2 = 0.451</math></b>	$R^2 = 0.322$	$R^2 = 0.373$	$R^2 = 0.213$	$R^2 = 0.175$
	$p = 0.072$	$p = 0.408$	$p = 0.535$	$p = 0.670$	$p = 0.325$	$p = 0.995$	$p = 0.754$	$p = 0.435$	<b><math>p = 0.024</math></b>	$p = 0.116$	$p = 0.066$	$p = 0.305$	$p = 0.401$
Densidade de Partículas	<b><math>R^2 = 0.516</math></b>	$R^2 = 0.034$	$R^2 = 0.116$	$R^2 = 0.131$	$R^2 = 0.177$	$R^2 = 0.176$	$R^2 = 0.117$	$R^2 = 0.104$	$R^2 = 0.295$	$R^2 = 0.303$	<b><math>R^2 = 0.400</math></b>	$R^2 = 0.099$	$R^2 = 0.332$
	<b><math>p = 0.008</math></b>	$p = 0.871$	$p = 0.581$	$p = 0.532$	$p = 0.397$	$p = 0.400$	$p = 0.575$	$p = 0.619$	$p = 0.151$	$p = 0.140$	<b><math>p = 0.047</math></b>	$p = 0.636$	$p = 0.104$



A tendência foi a mesma entre a CRA (figura 3) e os demais atributos. Os maiores valores de S e de microporosidade encontrados representaram também maior conteúdo de água, (conforme observado na tabela 3), corroborando com Dexter (2004). Na Figura 3 são apresentadas as curvas de retenção de água para todas as áreas estudadas. Observa-se que a área de “campo” possui o maior conteúdo de água, caracterizando possivelmente essa área como a melhor em relação à água disponível para as plantas.



**Figura 3.** Curvas de retenção de água, modeladas e observadas em função do potencial matricial, para cada área amostrada no Parque Municipal da Serra do Curral e Parque Fort Lauderdale, Belo Horizonte - MG, Brasil

As curvas são seguidas das áreas: “campo”, “raspada”, “voçoroca”, “Eucalipto” e “mata”. Observa-se que a tendência segue o mesmo padrão para os outros atributos avaliados. A área de “campo”, por possuir maiores teores de MOS, e a área de “mata”, por possuir os menores índices de argila e maiores de silte (figura1), faz com que suas curvas fiquem extremas umas às outras no gráfico, corroborando com outros estudos (Yang et al., 2014; Rawls et al., 2003). Segundo Liu et al. (2012), a MOS está intimamente relacionada à manutenção de água no solo, podendo, assim, favorecer a área de “campo” a ter maior inclinação da curva de retenção de água. O comportamento da curva de retenção reflete o tamanho de poros (Carducci et al., 2011); assim, a área de “campo”, por possuir maior quantidade de microporos, tem maior capacidade de retenção de água.

A partir das análises visuais (tabela 5) pode-se observar que não houve diferença significativa para os atributos estrutura e presença de mosqueados no solo. Houve baixa

presença de minhocas nas áreas, justificando a não discussão desses dados. Já para o teor de cobertura vegetal, percebe-se que a área que possui um maior aporte vegetal, “mata”, visualmente apresenta uma maior cobertura do solo, tendo, conseqüentemente, altos teores de MOS, possibilitando, assim, boa qualidade do mesmo (Plaza et al., 2013). Em relação ao atributo cor, as áreas de “mata” e “campo” não se distinguiram; tal fato pode também estar relacionado à maior presença vegetal nestas áreas. Em relação à porosidade, a área de “campo” se destacou da mesma forma que a partir das análises laboratoriais; no entanto, não se distinguiu estatisticamente das áreas de “mata” e “Eucalipto”. Já em relação ao relevo de superfície, a área de “mata” apresentou os maiores resultados por apresentar uma topografia mais estável e que possibilitou menor dificuldade de trânsito pelo terreno. As áreas mais antropizadas, “raspada” e “voçoroca”, por apresentarem menor aporte vegetal e MOS, possuem uma estrutura mais susceptível à desagregação, sendo visualmente mais degradadas e erodidas (Rocha et al., 2015).

**Tabela 5.** Valores obtidos por análise visual dos atributos do solo nas áreas estudadas, no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Quadrilátero Ferrífero, Belo Horizonte - MG, Brasil.

Áreas	Estatística	P	CV (%)	Raspada	Voçoroca	Campo	Mata	Eucalipto
Cobertura de solo	$F_{(2,14)}=11,071$	<b>&lt;0.001</b>	40,99	0,333 c	0,166 c	0,833 b	1,833 a	1,000 b
Cor	$F_{(2,14)}=5,714$	<b>&lt;0.001</b>	25,62	0,833 b	1,000 b	1,833 a	1,833 a	1,166 b
Estrutura	$F_{(2,14)}=0,681$	0,070	36,70	1,166 a	1,000 a	1,000 a	1,166 a	1,500 a
Mosqueados	$F_{(2,14)}=4,857$	0,020	27,69	1,000 a	0,666 a	1,333 a	1,833 a	1,333 a
Porosidade total	$F_{(2,14)}=4,392$	<b>&lt;0.001</b>	38,14	0,666 b	0,666 b	1,833 a	1,833 a	1,333 a
Relevo de superfície	$F_{(2,14)}=20,875$	<b>&lt;0.001</b>	22,78	0,833 c	0,166 d	1,333 b	2,000 a	1,333 b

\*Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste Scott-Knott.

Quanto ao índice de qualidade visual, são escassos trabalhos realizados em áreas mineradas. Neste trabalho, nota-se que quanto maior o revolvimento do solo, menor cobertura vegetal e maior antropização, piores tendem a serem os teores visualizados (tabela 6). Tais dados corroboram com os resultados analíticos encontrados e atestam a premissa, demonstrando que as áreas de “campo”, “mata” e “Eucalipto”, por serem menos

antropizadas, se destacaram positivamente em relação aos atributos físicos do solo comparado às demais. As áreas de “voçoroca” e “raspada” encontram-se em avançado grau de degradação e, por isso, se enquadram na categoria “pobre”, segundo Shepherd (2000). No entanto, as demais áreas foram classificadas como de qualidade visual moderada, possivelmente por já terem sido mineradas (Eucalipto) e/ou pela análise ter sido influenciada pela alta pedregosidade encontrada. A avaliação visual é interessante para se estimar rapidamente os atributos de um solo agrícola, porém, em uma caracterização mais abrangente é necessário se fazer uso do maior número de análises laboratoriais possíveis.

**Tabela 6.** Valores do índice de qualidade do solo e sua classificação, segundo Shepherd (2000), em cinco áreas no Parque Municipal da Serra do Curral e no Parque Fort Lauderdale, Quadrilátero Ferrífero, Belo Horizonte - MG, Brasil.

Áreas	Índice Visual	Classificação
Raspada	9 b	Pobre
Voçoroca	8,5 b	Pobre
Campo	19 a	Moderada
Mata	14 a	Moderada
Eucalipto	15,5 a	Moderada

\*Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste Scott-Knott,  $F_{(2,14)}=14,02$ .

#### 4.6 - Conclusão

A área de “campo” apresentou os melhores parâmetros para os atributos avaliados. A pedregosidade, teor de Areia e MOS podem ter superestimado os resultados, principalmente nas áreas de “mata” e “Eucalipto”, uma vez que estas são as menos antropizadas.

A avaliação visual isoladamente não consegue caracterizar os atributos físicos do solo, principalmente em áreas pós mineração, sendo usada principalmente em solos agrícolas.

#### 4.7 – Referências

ASGARZADEH, H. et al. Integral energy of conventional available water, least limiting water range and integral water capacity for better characterization of water availability and

soil physical quality. **Geoderma**, v. 166, n. 1, p. 34–42, 2011.

ASGARZADEH, H. et al. Determination of soil available water for plants: Consistency between laboratory and field measurements. **Geoderma**, v. 226-227, n. 1, p. 8–20, 2014.

ASGARZADEH, H.; MOSADDEGHI, M. R.; NIKBAKHT, A. M. SAWCal : A user-friendly program for calculating soil available water quantities and physical quality indices. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 109, p. 86–93, 2014.

BLAKE, G. R.; HARTGE, K. . Methods of soil analysis. 2.ed Particle Density. In: **American Society of Agronomy**. p. 377–382, 1986.

CARDUCCI, C. E. et al. Modelagem da curva de retenção de água de latossolos utilizando a equação duplo van Genuchten. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 1, p. 77–86, 2011.

CARVALHO, R. P. B. Contributions of geosystems analysis in the recovery of areas degraded by mining activities. **Caderno de Geografia**, v. 21, n. 36, p. 13–28, 2011.

DEXTER, A. R. Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma**, v. 120, p. 201–214, 2004.

DEXTER, A. R.; BIRD, N. R. A. Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. **Soil and Tillage Research**, v. 57, n. 4, p. 203–212, 2001.

DREWRY, J. J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN, G. D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing - A review. **Australian Journal of Soil Research**, v. 46, p. 237–256, 2008.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 2<sup>o</sup>. ed. Rio de Janeiro - RJ: Documento 182, Embrapa Solos, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Embrapa Produção de Informação, 2011.

FERREIRA, M. M. Caracterização Física do Solo. **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 1, p. 1–27, 2010.

FERREIRA, M. M.; MARCOS, Z. Z. Estimativa da capacidade de campo de Latossolo Roxo distrófico e Regossolo através do ponto de inflexão da curva característica de umidade. **Ciência e Prática**, v. 7, p. 96– 101, 1983.

- FREITAS, D. A. F. et al. Índices De Qualidade Do Solo Sob Diferentes Sistemas De Uso E Manejo Florestal E Cerrado Nativo Adjacente. **Revista Ciencia Agronomica**, v. 43, n. 3, p. 417–428, 2012.
- FROTA, P. V.; NAPPO, M. E. Processos erosivos e a retirada da vegetação na Bacia Hidrográfica do Açude Orós - CE. **Geonorte**, v. 4, n. 4, p. 1472–1481, 2012.
- FU, S. et al. The effect of slope on interrill erosion at short slopes. **Catena**, v. 84, n. 1-2, p. 29–34, 2011.
- GHIBERTO, P. J. et al. Soil physical quality of Mollisols quantified by a global index. **Scientia Agrícola**, n. April, p. 167–174, 2015.
- GROHMANN, F. **Análise de agregados de solos**. **Bragantia**, 1960.
- ISLABÃO, G. O. et al. Characterization of Soil Chemical Properties of Strawberry Fields Using Principal Component. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, n. 1, p. 168–176, 2013.
- JACOMINE, P. K. T. A nova classificação brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 5 e 6, p. 161–179, 2009.
- JOLLIFFE, L. T. **Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science Journal of the American Statistical Association**, 2008.
- KLEIN, V. A. **Física do solo**. 3. ed. Passo Fundo: EDIUPF: 2014.
- KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e sua relação com a densidade do solo ao longo do perfil de um Latossolo Roxo. **Revista Ciência Rural**, v. 30, n. Santa Maria, p. 959–964, 2000.
- KUMAR, S. et al. Tillage and Rice-Wheat Cropping Sequence Influences on Some Soil Physical Properties and Wheat Yield under Water Deficit Conditions. **Open Journal of Soil Science**, v. 2012, n. June, p. 71–81, 2012.
- LI, L. et al. Soil physical qualities in an Oxic Paleustalf under different tillage and stubble management practices and application of S theory. **Soil and Tillage Research**, v. 113, n. 2, p. 82–88, 2011.
- LIU, D. et al. Rainfall intensity and slope gradient effects on sediment losses and splash

from a saline–sodic soil under coastal reclamation. **CATENA**, v. 128, p. 54–62, 2015.

LIU, W. et al. Storage, patterns, and control of soil organic carbon and nitrogen in the northeastern margin of the Qinghai–Tibetan Plateau. **Environmental Research Letters**, v. 7, p. 035401, 2012.

LONGO, R. M.; RIBEIRO, A. I.; DE MELO, W. J. Recuperação de solos degradados na exploração mineral de cassiterita: Biomassa microbiana e atividade da desidrogenase. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 132–138, 2011.

MINASNY, B.; MCBRATNEY, A. B. Integral energy as a measure of soil-water availability. **Plant and Soil**, v. 249, p. 253–262, 2003.

NIERO, L. et al. Avaliações visuais como índice de qualidade do solo e sua validação por análises físicas e químicas em um latossolo vermelho distroférico com usos e manejos distintos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 3, p. 1271–1282, 2010.

NUNES, M.; COSTA, S.; SILVA, R. O quadrilátero ferrífero e o norte de minas gerais: análise da história e importância econômica. **Unimontes**, p. 1–16, 2012.

PLAZA, C. et al. Physical, chemical, and biochemical mechanisms of soil organic matter stabilization under conservation tillage systems: A central role for microbes and microbial by-products in C sequestration. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 57, p. 124–134, 2013.

R Core Team (2014). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.

RAWLS, W. J. et al. Effect of soil organic carbon on soil water retention. **Geoderma**, v. 116, n. 1-2, p. 61–76, 2003.

REYNOLDS, W. D. et al. Indicators of good soil physical quality: Density and storage parameters. **Geoderma**, v. 110, n. 1-2, p. 131–146, 2002.

REYNOLDS, W. D. et al. Land management effects on the near-surface physical quality of a clay loam soil. **Soil and Tillage Research**, v. 96, n. 1-2, p. 316–330, 2007.

REYNOLDS, W. D. et al. Optimal soil physical quality inferred through structural regression and parameter interactions. **Geoderma**, v. 146, p. 466–474, 2008.

- REYNOLDS, W. D. et al. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. **Geoderma**, v. 152, n. 3-4, p. 252–263, 2009.
- ROCHA, J. H. et al. Reflorestamento e Recuperação de Atributos Químicos e Físicos do Solo. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 299–306, 2015.
- ROLIM, S. G. et al. Classificação climática de koppen e de thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de zonas agroclimáticas para o estado de São Paulo. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007.
- RUEHLMANN, J.; KÖRSCHENS, M. Calculating the Effect of Soil Organic Matter Concentration on Soil Bulk Density. **Soil Science Society of America Journal**, v. 73, n. 3, p. 876, 2009.
- SCHJØNNING, P. et al. Turnover of organic matter in differently textured soils. II. Microbial activity as influenced by soil water regimes. **Geoderma**, v. 89, p. 199–218, 1999.
- SCHMIDT, M. W. I et al. Persistence of soil organic matter as an ecosystem property. **Nature**, v.478, p. 49-56, 2011.
- SHEPHERD, T. G. Visual soil assessment: Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country. In: **Horizons.mw & Landcare Research**. p. 84, 2000.
- SILVA, B. M. et al. Índice s no diagnóstico da qualidade estrutural de latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 338–345, 2012a.
- SILVA, B. M. et al. Índice S no diagnóstico da qualidade estrutural de Latossolo muito argiloso sob manejo intensivo. **Bioscience Journal**, v. 28, n. 3, p. 338–345, 2012b.
- SILVA, B. M. et al. Plant-available soil water capacity: Estimation methods and implications. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 2, p. 464–475, 2014.
- SILVA, A. P. DA; KAY, B. D.; PERFECT, E. Characterization of the Least Limiting Water Range of soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 58, n. 1, p. 1775–1781, 1994.
- SIQUEIRA, R. H. DA S. et al. Water retention and S index of an oxisol subjected to weed control methods in a coffee crop. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 5, p. 471–479, 2014.

VAN GENUCHTEN, M. T. **A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils** *Soil Science Society of America Journal*, 1980.

VAN GENUCHTEN, M. T.; LEIJ, F. J.; YATES, S. . **The RETC Code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils, Version 1.0**, 1991.

VAN LIER, Q. D. Revisiting the S-Index for Soil Physical Quality and Its Use in Brazil. **Revista Brasileira de Ciencia Do Solo**, v. 38, n. 1, p. 1–10, 2014.

VERDONCK, O.; PENNINCK, R.; BOODT, M. The Physical Properties of Different Horticultural Substrates. **Acta Horticulturae**, 1983.

YANG, F. et al. Organic matter controls of soil water retention in an alpine grassland and its significance for hydrological processes. **Journal of Hydrology**, v. 519, p. 3086–3093, 2014.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo é importante não só na caracterização de áreas, mas também no planejamento de medidas à mitigação de áreas impactadas e no planejamento de culturas agrícolas. Atividades antrópicas vêm afetando intensamente o solo ao longo dos anos; a busca por produção em larga escala de seus derivados e por abertura de novas áreas leva a uma contínua piora em seus atributos.

A atividade mineradora é importantíssima no mundo inteiro, por atender à demanda de produtos metálicos, principalmente. No entanto, tal atividade é altamente impactante ao solo, uma vez que há o descobrir do mesmo, além de um intenso revolver, uma forte compactação e destruição de sua estrutura. Assim, são necessários estudos a fim de desenvolver técnicas que visem à manutenção e/ou melhora nos atributos do solo e no estabelecimento de um aporte vegetal vigoroso, principalmente em solos pós mineração.

No primeiro capítulo, observa-se uma distinção entre as áreas (para os atributos avaliados). As análises mostraram que as áreas onde o aporte da vegetal era maior e mais vigoroso possuíam melhores índices de qualidade do solo. Assim, destacaram-se positivamente as áreas de “mata” e “Eucalipto”. Outro aspecto importante é a alta pedregosidade encontrada em todas as áreas estudadas. Contudo, pelas análises realizadas,



conclui-se que a pedregosidade não influenciou nos resultados nem, conseqüentemente, na distinção das áreas. Outra conclusão a que se chega é que a MOS atua fortemente na agregação das partículas do solo, potencializando, assim, sua qualidade.

No segundo capítulo, conclui-se que a área de “campo” apresentou os melhores resultados para os atributos avaliados. O estudo foi feito partindo-se de análises visuais, segundo manual de campo de Shepherd (2000) e de amostras indeformadas, sendo, portanto, uma linha de estudo diferente. Todavia, era esperado que os resultados fossem similares aos encontrados no primeiro capítulo; entretanto, para este estudo, os teores de pedregosidade, teor de Areia e MOS podem ter influenciado na obtenção dos resultados, super ou subestimando os índices dos atributos avaliados em cada área. Avaliações visuais são úteis para uma análise mais rápida de determinada área. No entanto, é necessário um maior número de análises laboratoriais para melhor acurácia dos resultados.

O trabalho mostrou que a mineração atuou fortemente na piora dos atributos do solo para as áreas avaliadas, principalmente onde restou menor aporte vegetal. Esta piora nos atributos resultou em uma alta erosão laminar onde, no estágio mais avançado, degradou totalmente o solo, tornando-o susceptível ao surgimento da voçoroca.

Por fim, este estudo corrobora com resultados encontrados por outros autores em áreas pós mineração, reafirmando que quanto maior a cobertura vegetal e o teor de MOS, melhores tendem a serem os atributos físicos do solo. Tal estudo faz a caracterização de uma área turística da cidade de Belo Horizonte- MG; sendo assim, a partir dos resultados encontrados, para um futuro estudo, pode-se determinar medidas que possam ser eficientes na mitigação das áreas impactadas e na conservação das melhores áreas, tais como: revegetação das áreas (quando necessário), construção de canais de escoamento de água, correção do pH do solo por calagem, introdução de fertilizantes, a fim de melhorar as propriedades químicas, construção de terraços e barraginhas, entre outros. Tais medidas trarão benefícios não só visuais, mas também ecológico e ambiental para o parque e, conseqüentemente, ao município.