

APLICAÇÃO DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO NO ESTUDO DA QUALIDADE DE ÁREAS IMPACTADAS, EM ITAJUBÁ/MG

Fernanda Guimarães Mendes¹, Eliane Guimarães Pereira Melloni², Rogério Melloni²

(recebido: 17 de outubro de 2005; aceito: 30 de junho de 2006)

RESUMO: Com o objetivo de avaliar as estratégias de recuperação de áreas degradadas, adotadas no Campus da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) – MG, utilizaram-se indicadores físicos facilmente determináveis em laboratório como crescimento radicular, densidade de partículas, estabilidade de agregados (Diâmetro Médio Ponderado (DMP) e o Diâmetro Médio Geométrico (DMG)), textura, índice de floculação, densidade do solo e volume total de poros. Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-10 e de 10-20 cm de áreas pertencentes a dois ecossistemas: natural, não degradado (N) e degradado (R), subdivididos em três subáreas cada um. Paralelamente, foram estabelecidas relações entre atributos visuais de qualidade do solo com os atributos físicos. Entre as áreas degradadas, R1 e R2 apresentaram maior grau de recuperação, em função dos maiores valores de crescimento radicular, DMP e DMG, se comparadas com a área R3. A maior porcentagem de agregados situou-se na faixa acima de 2 mm, independente da profundidade, excetuando-se na área R3, indicando boas condições para o desenvolvimento vegetal e sustentabilidade destes sistemas. Os resultados mostraram que os atributos físicos, crescimento radicular, DMP e DMG, possibilitaram discriminação das áreas naturais e aquelas em recuperação, e apresentam potencial de aplicação em outros estudos de avaliação de áreas impactadas. A análise visual permitiu quantificar diferenças relacionadas a solo e vegetação, sendo detectados déficits de 24%, 44% e 66%, respectivamente, para as áreas R1, R2 e R3, em relação à média visual obtida nas áreas consideradas não-degradadas.

Palavras-chave: Recuperação de área degradada, qualidade do solo, indicadores físicos.

APPLICATION OF SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES TO THE STUDY OF DEGRADED AREAS QUALITY, IN ITAJUBÁ COUNTY/MG

ABSTRACT: *The study evaluate the strategies of rehabilitation of degraded area adopted in the Campus of Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) - MG, physical attributes such as root growth, particle density, Mean Weighed Diameter (DMP) and Mean Geometric Diameter (DMG of aggregates), texture, flocculation index, soil density and total volume of pores were used. Soil samples were collected at the depth of 0-10 and 10-20 cm on areas of two ecosystems: natural, not degraded (N), and degraded one (R), subdivided in three sub-areas each. Relations between visual attributes of soil quality with the physical attributes were established too. Among degraded areas, those R1 and R2 had presented greater rehabilitation degree, in function of the biggest values of root growth, DMP and DMG, compared with the R3 area. The biggest aggregates were above 2 mm, independent of the depth, excepting in the R3 area, indicating good conditions for plant development and sustainability of these systems. The results showed that using physical attributes, as root growth, DMP and DMG it is possible to identify different areas presenting high potential of application in other studies of evaluation of degraded areas under rehabilitation. The visual analysis permitted the quantification of differences related to soil and vegetation, with values about 24%, 44% and 66%, respectively, for R1, R2 and R3, in relation average values obtained for non degraded areas.*

Key words: Rehabilitation of degraded area, soil quality, physical indicators.

1 INTRODUÇÃO

O uso de indicadores da qualidade do solo para avaliação da sustentabilidade ambiental é de grande importância. Esta qualidade pode ser definida como a capacidade do solo funcionar dentro dos limites do ecossistema; sustentar a produtividade biológica; manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal (DORAN et al., 1996). A avaliação dessa qualidade por meio de atributos do solo é bastante complexa devido à grande diversidade de usos, à multiplicidade de inter-relações entre fatores

físicos, químicos e biológicos que controlam os processos e aos aspectos relacionados a sua variação no tempo e no espaço.

O grande desafio dos estudos sobre sustentabilidade é com relação ao desenvolvimento de metodologias para avaliação da qualidade do solo e do ambiente sob a interferência do homem. O uso de atributos físicos do solo para o estudo de sua qualidade apresenta vantagens relacionadas ao baixo custo, metodologias simples e rápidas e relação direta com os demais atributos químicos e biológicos do solo.

¹Engenheira Ambiental – Universidade Federal de Itajubá – Ex-Bolsista FAPEMIG – Av. BPS, 1303 – Pinheirinho – Itajubá, MG – 37.500-900 – fer10679@yahoo.com.br

²Professores do Instituto de Recursos Naturais da UNIFEI – Av. BPS, 1303 – Pinheirinho – Itajubá, MG – 37500-900 – elianegp@unifei.edu.br; rmelloni@unifei.edu.br

A densidade do solo, obtida por métodos não destrutivos (sonda de nêutrons) ou por métodos destrutivos (anel volumétrico e torrão parafinado), além de ser um indicador da qualidade do solo, é utilizada para determinar a quantidade de água e de nutrientes que existam no perfil do solo com base no volume. Padrões críticos de densidade do solo são difíceis de serem definidos. No entanto, valores em torno de 1,0; 1,1 e 1,3 Mg m⁻³ podem ser encontrados em solos sem interferência antrópica, em solos cultivados ou sob intenso tráfego, respectivamente. Para uma adequada avaliação, deve-se comparar os valores obtidos nas áreas em estudo com outros valores de áreas comprovadamente não compactadas, preferencialmente com mesmo tipo de solo e relevo.

Outro atributo físico que pode ser avaliado é a densidade de partículas, característica intrínseca do solo, dependente apenas dos constituintes da fração sólida do solo e determinada pela proporção relativa de material mineral e orgânico e suas respectivas densidades. Pelo fato da densidade da matéria orgânica variar de 1,0 a 1,3 Mg m⁻³ e a densidade da parte mineral variar de 2,50 a 5,20 Mg m⁻³ (FERREIRA & DIAS JÚNIOR, 1996), valores próximos a estes podem indicar dominância de partículas orgânicas ou minerais em sua fase sólida.

A porosidade, fração do volume ocupado com solução e ar do solo, é de grande importância aos processos físicos, químicos e biológicos, como infiltração, condutividade, drenagem, retenção de água, difusão de nutrientes, crescimento de microrganismos, raízes e pêlos absorventes (BOUMA, 1991; MOREIRA & SIQUEIRA, 2002).

Um dos atributos mais importantes para se avaliar a qualidade do solo é a sua estrutura, porque complementa o estudo de avaliação do arranjo entre sólidos e vazios. Avaliações quantitativas podem ser feitas por determinações indiretas (quantidade de agregados estáveis em água ou a seco ou resistência dos agregados ao impacto de gotas de chuva simulada), ou diretas pelos de atributos densidade do solo, porosidade, índices de floculação e infiltração de água no solo.

Um bom crescimento vegetal depende da presença de agregados com diâmetro entre 1 e 10 mm estáveis que contenham grande quantidade de poros com mais de 75 µm de diâmetro (condições normais

de aeração) e de poros com diâmetro entre 0,2 e 30 µm em número suficiente para reter água para o crescimento de microrganismos e raízes (SIQUEIRA et al., 1994). A melhoria da estrutura é acompanhada pelo aumento da permeabilidade, pelo decréscimo na erodibilidade e pela redução no escoamento superficial de água e, conseqüentemente, pela redução da erosão hídrica (WISCHMEIER, 1966) e aumento da qualidade do solo.

O carbono orgânico é um dos principais fatores de formação e estabilização dos agregados, sendo comum encontrar-se correlação positiva entre as duas variáveis (TISDALL & OADES, 1980).

Karmanov & Friyev (1982) desenvolveram índices ecológicos do solo, baseados em diversos atributos como: incidência de luz, temperatura, disponibilidade de água, retenção de água, drenagem, densidade de solo, salinização, acidez e toxidez. Os valores encontrados possibilitaram uma análise quantitativa e comparativa entre os solos, sendo que os menores índices foram relacionados a solos degradados. Na mesma linha, Garlynd et al. (1994) e Romig et al. (1995) descreveram um questionário com um sistema de notas para avaliação preliminar da qualidade do solo no campo, envolvendo os seguintes atributos: presença de minhocas, erosão, estrutura, cor (úmida), compactação e infiltração. Nessa mesma linha, Melloni (2001) desenvolveu uma planilha de avaliação *in situ* sobre os atributos de solo e vegetação, objetivando o cálculo de um índice de qualidade de solos em áreas de mineração de bauxita em recuperação. As notas variaram de 0 (pior) a 5 (melhor). Foram observadas grandes variações entre solos recém-minerados e àqueles revegetados, em processo de recuperação.

Com base no exposto, com este trabalho busca-se avaliar solos de diferentes áreas em recuperação, por meio de atributos físicos facilmente determináveis como: crescimento radicular, densidade de partículas, densidade real do solo, porosidade total, textura e estabilidade de agregados, verificando a potencialidade de utilização como indicadores de sua qualidade, em Itajubá/MG.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Áreas pertencentes a dois ecossistemas identificados como: N (natural, não degradado) e R (degradado, em recuperação), foram estudadas em

Itajubá, sul de Minas Gerais. O ecossistema natural foi adotado como sendo uma área-modelo de cerca de 0,02 ha. Esta foi dividida em três subáreas denominadas de N1, N2 e N3, com alta declividade, coberta completamente com capim-gordura e espécies arbustivas diversas e sem interferência antrópica por mais de vinte anos. O ecossistema degradado, em recuperação, vizinho do ecossistema natural, foi dividido, também, em três subáreas chamadas de R1, R2 e R3, com tamanho próximo ao do ecossistema natural, relevo e declividade semelhantes, em diferentes fases de recuperação. Nas áreas em recuperação várias espécies vegetais estão sendo utilizadas como feijão-guandu (*Cajanus cajan*), feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), mucuna-cinza (*Mucuna cinereum*) e espécies arbóreas como araucária (*Araucaria angustifolia*), paineira (*Chorisia* sp.), jacarandá (*Dalbergia* sp.), guapuruvu (*Schizolobium parayba*) e outras nativas.

A amostragem dos solos foi realizada no mês de março de 2004 e as subáreas foram previamente demarcadas em transectos de 4 x 25 m. A coleta das subamostras de solo foi realizada em zig-zague, num total de quatro amostras deformadas compostas por área, formadas por três subamostras cada, nas profundidades de 0-10 cm e 10-20 cm. Amostras indeformadas foram, também, coletadas com o uso de cilindros de volume igual a 88,63 cm³ pertencentes ao Laboratório de Solos da UNIFEI, num total de quatro amostras por subárea, para cada profundidade.

Todas as amostras deformadas e indeformadas foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o Laboratório de Solos da UNIFEI, onde foram determinados os atributos físicos descritos a seguir:

2.1 Crescimento Radicular

Amostras de solos foram retiradas com trado de 0,08 m de diâmetro, e com bordas dentadas, num total de 4 repetições por subárea, nas duas profundidades mencionadas anteriormente. A separação das raízes foi feita manualmente por meio de dissolução e fracionamento do solo em água abundante e pela suspensão e peneiramento das raízes, utilizando-se peneira com abertura de 0,425 mm (MARIA et al., 1999). Após separadas, as raízes foram lavadas e, posteriormente, secas em estufa a 60°C, por 24 h. Em seguida, foram pesadas, sendo os

resultados expressos em matéria seca de raízes (mg) por massa de solo (g).

2.2 Densidade do Solo e de Partículas e Porosidade

A densidade do solo (Ds) foi determinada mediante amostras indeformadas coletadas com o cilindro de volume igual a 88,63 cm³. A densidade de partículas (Dp) foi determinada pelo método do balão volumétrico, conforme metodologia descrita pela Embrapa (1997). O volume total de poros (VTP) foi determinado pela expressão de Danielson & Sutherland (1986).

2.3 Estabilidade de Agregados

A estabilidade de agregados foi determinada por peneiramento seco, conforme metodologia descrita por Embrapa (1997). Com as porcentagens dos agregados retidos em cada peneira (n) e o diâmetro médio das faixas de tamanhos dos agregados (d), em milímetros, determinaram-se o Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e o Diâmetro Médio ponderado (DMP).

2.4 Textura e Argila Dispersa em Água e Índice de Floculação

A textura do solo das áreas estudadas foi determinada pelo método da pipeta seguindo metodologia descrita por Embrapa (1997), com o objetivo de determinar a classe textural do solo de cada área. A determinação da argila dispersa em água seguiu a mesma metodologia descrita anteriormente, sem acrescentar NaOH, para utilização no cálculo do índice de floculação pela fórmula:

(Argila em NaOH – Argila em água/ Argila em NaOH) x100

2.5 Análise Visual da Qualidade do Solo

Utilizou-se planilha desenvolvida por Melloni (2001), com 4 avaliadores por subárea. As notas variaram de 0 a 5, atribuídas à: presença de erosão, pedregosidade, macrofauna do solo, índice de cobertura vegetal, diversidade, porte/estratificação, vigor da vegetação, presença de serapilheira, estado de decomposição da serapilheira, incorporação da serapilheira no solo e fauna silvestre. Procedeu-se a

ponderação em função da importância de cada atributo na qualidade do solo, de acordo com Melloni (2001).

Na análise de variância e comparação das médias usou-se o método de Duncan a 5% de significância, mediante o programa estatístico SANEST (ZONTA et al., 1984). Posteriormente, as áreas foram agrupadas em dendrogramas de similaridade, conforme os atributos físicos estudados, utilizando-se o método Complete Linkage e Distância Euclidiana (EVERITT, 1993), pelo programa Statistica (1995).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para peso de raízes existentes nas amostras de solo, houve efeito significativo das áreas e profundidades, sem efeito da interação. Os dados referentes ao peso médio de raízes existentes nas amostras de solo nas diferentes áreas em estudo, em ambas as profundidades encontram-se na Figura 1. Independente das áreas em estudo, os maiores valores

foram obtidos na profundidade até 10 cm ($7,31 \text{ mg g}^{-1}$ de solo), em relação àquela de 20 cm ($3,17 \text{ mg g}^{-1}$ de solo), provavelmente em função do maior teor de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes na superfície.

Os menores valores de peso radicular foram observados na área R3, enquanto que nas áreas R1, R2 e N2 foram encontrados os maiores valores. Com relação a este atributo, pode-se dizer que, diferentemente do observado na área R3, as estratégias de revegetação utilizadas nas áreas R1 e R2 foram consideradas eficientes e que estas áreas estão em processo de recuperação, aproximando-se ou mesmo superando aquelas consideradas naturais, sem interferência antrópica recente. A maior homogeneidade visual, física e química (matéria orgânica) pode ter contribuído para a maior uniformização do peso radicular nas áreas naturais, em relação àquelas em recuperação, consideradas pouco uniformes.

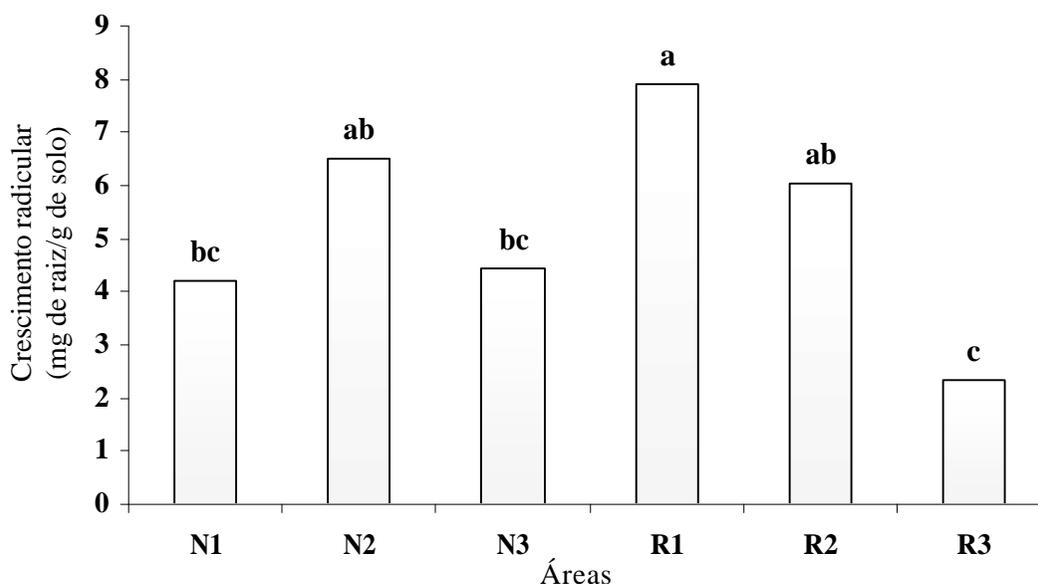


Figura 1 – Peso médio de raízes nas diferentes áreas em estudo, independente da profundidade de amostragem. Áreas: N1, N2, N3 (naturais, sem interferência antrópica recente), R1, R2 e R3 (em recuperação, com variações no estado da revegetação). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 5% de significância.

Figure 1 – Mean Root weight on different areas, independent of the sampling depth. Areas: N1, N2, N3 (natural, without recent human interference), R1, R2 and R3 (in rehabilitation, with variations in the plant species). Means followed of the same letter do not differ for Duncan 5% test.

Para densidade de partículas, densidade do solo e volume total de poros não houve diferenças significativas entre as áreas, nas diferentes profundidades. Portanto, os dados não serão apresentados. Os valores obtidos ficaram próximos a $2,55 \text{ g cm}^{-2}$, $1,24 \text{ g cm}^{-2}$ e $2,31 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, respectivamente, semelhantes àqueles encontrados em solos tropicais onde predomina quartzo na fração areia (FERREIRA & DIAS JUNIOR, 1996). Pelo baixo potencial de discriminação das áreas de estudo, pode-se concluir que os atributos físicos densidade de partículas, densidade do solo e volume total de poros não são considerados bons indicadores da qualidade do solo.

Para a densidade do solo, Spera et al. (2004), assim como Anjos et al. (1994), obtiveram menores valores de densidade do solo nas áreas que representavam a condição estrutural original do solo, o que não foi observado neste trabalho em nenhuma área. Este fato pode estar relacionado a uma menor compactação natural do solo em recuperação devido à cobertura vegetal (gramíneas) que, cobrindo bem o solo, pode evitar a possível compactação ocasionada por chuva ou por pisoteio de alguma natureza.

Spera et al. (2004) observaram aumento da porosidade com a profundidade para todos os sistemas

de produção com culturas produtoras de grãos e forrageiras sob pastejo. O contrário foi observado para áreas de floresta subtropical, as quais apresentaram maior porosidade total em relação a todos os sistemas, em diferentes profundidades, resultado da estruturação dos solos, também em subsuperfície, devido aos resíduos vegetais depositados.

Os resultados da porcentagem de argila, silte e areia, classe textural, argila dispersa em água (ADA), índice de floculação (IF) e matéria orgânica estão apresentados na Tabela 1. A classe textural dos solos em estudo variou de média a argilosa, sendo a última predominante. Houve diferenças significativas dos valores de ADA e IF, sendo que as áreas em recuperação apresentaram maiores valores de IF e menores de ADA (exceto a área R1) que as áreas naturais. Este resultado sugere que as áreas estão em processo de recuperação da estrutura dos solos, já que a floculação é o primeiro passo para a formação de agregados.

Os resultados da estabilidade média de agregados a seco em amostras de solos, das áreas de estudo, independente da profundidade, encontram-se na Tabela 2. Excetuando-se a área R3, nas demais houve sempre maior porcentagem de agregados acima de 2 mm, independente da profundidade estudada,

Tabela 1 – Valores médios de porcentagem de argila, areia e silte (dispersos em NaOH), classe textural (C.T.), argila dispersa em água (ADA) e índice de floculação (IF), das profundidades de 0-10 e 10-20cm, e matéria orgânica (MO), em amostras de solo das diferentes áreas em estudo.

Table 1 – Means of clay, sand and silte content (dispersed in NaOH), texture (C.T.), clay dispersed in water (ADA), and flocculation index (IF), at 0-10 and 10-20cm depth, and organic material content (MO), in soil samples on the different areas.

Áreas*	% argila	% areia	% silte	C. T.	ADA	IF	MO (%)
N1	43,63	41,17	15,21	argilosa	17,50a	62c **	1,43***
N2	37,00	40,96	22,04	argilosa	15,25ab	63c	1,33
N3	18,52	60,83	20,65	média	7,00bc	75bc	0,91
R1	54,63	32,95	11,86	argilosa	12,38abc	80ab	1,07
R2	58,45	29,51	12,05	argilosa	5,75c	91a	1,16
R3	46,32	33,45	20,23	argilosa	6,12bc	88ab	0,52

(*) Áreas: N1, N2, N3 (naturais, sem interferência antrópica recente), R1, R2 e R3 (em recuperação, com variações no estado da revegetação).

(**) Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 5% de significância.

(***) Valores na coluna obtidos por Silveira et al. (2006) em estudos realizados na mesma área de estudo, na profundidade de 0-10cm, sendo estes considerados muito baixo (área R3) a baixo (demais áreas), de acordo com Ribeiro et al. (1999).

possivelmente resultado dos maiores teores de matéria orgânica (Tabela 1) e cobertura vegetal encontrados nestas áreas. Nas áreas em recuperação (R2 e R3), observou-se grande quantidade de agregados menores que 0,25 mm, com baixos valores de DMG, indicando menor estruturação destes solos. A área R2 apresentou o maior índice médio de flocculação (Tabela 1) comparado com as demais áreas, além de volume total de poros semelhantes ao das áreas naturais, indicando que, embora tenham sido formados bastantes agregados, estes são de menores tamanhos e menos estáveis. De acordo com Siqueira et al. (1994), uma boa estrutura para o desenvolvimento vegetal e sustentabilidade ambiental depende da presença de agregados estáveis com diâmetro maior que 1 mm.

Por este atributo e pelos anteriormente discutidos, a área R3 foi aquela que mais se distancia das demais do ponto de vista de recuperação, necessitando uma melhor avaliação das estratégias atualmente adotadas. Souza et al. (2005) e Wei et al. (1985), após incorporação de biossólido ao solo, observaram maior estabilidade de agregados, verificados pelo DMG e agregados acima de 2 mm.

Epstein (1975) e Jorge et al. (1991) também observaram maior agregação com a aplicação de lodo de esgoto em Latossolos oxidícos, em função

do aumento da estabilidade natural de agregados decorrente do maior teor de matéria orgânica. Segundo Jorge et al. (1991), é previsível que apenas uma grande variação nos fatores de formação dos agregados, em especial o incremento dos teores de matéria orgânica, pode ter um efeito apreciável na estabilidade dos agregados.

Os valores de DMP encontrados estiveram na faixa de 1,126 – 1,995 mm, sendo que estes valores diferenciaram as áreas em três grupos: o primeiro composto pelas áreas N1, N2 e R1 com os maiores valores, o segundo grupo composto pelas áreas N3 e R2 com valores intermediários e o terceiro pela área R3, com os menores valores. De acordo com Dufranc et al. (2004), o DMP é um índice que traduz a estabilidade dos agregados de toda a amostra. Neste mesmo trabalho encontrou-se grande diferença entre os valores de DMP, sendo que em dois solos diferentes obtiveram-se valores 1,2 mm e 0,3 mm, sendo a diferença explicada pela diferença textural de tais solos.

Não houve correlação significativa entre matéria orgânica e DMG ($r=0,55$), DMP ($r=0,52$), IF ($r=-0,46$) e ADA ($r=0,58$) no presente estudo, provavelmente pelos baixos teores de matéria orgânica existentes nas áreas (Tabela 1), que variaram de muito baixo a baixo (RIBEIRO et al., 1999).

Tabela 2 – Estabilidade média de agregados a seco (% de agregados), independente da profundidade, e Valores Médios do Diâmetro Médio Geométrico (DMG) e Diâmetro Médio Ponderado (DMP) (mm), em amostras de solo das diferentes áreas em estudo.

Table 2 – Mean stability of dried aggregate (% of aggregate), independent of the depth and the Mean Values of DMG and DMP (mm), in soil samples on the different areas.

Área *	Porcentagem de agregados					DMG	DMP
	Classes de agregados (mm)						
	>2,00	1,18 - 2,00	0,425 - 1,18	0,25 - 0,425	<0,25		
N1	52,45	20,44	7,19	7,35	12,57	1,375a**	1,995a**
N2	48,43	21,04	8,01	6,04	16,47	1,231a	1,890a
N3	35,26	17,35	9,19	12,63	25,57	0,833b	1,485b
R1	52,02	21,67	7,56	4,62	14,13	1,358a	1,980a
R2	27,99	23,54	13,88	9,22	25,37	0,789b	1,390b
R3	18,20	20,72	19,87	14,15	27,05	0,645c	1,126c

(*) Áreas: N1, N2, N3 (naturais, sem interferência antrópica recente), R1, R2 e R3 (em recuperação, com variações no estado da revegetação). Áreas: N1, N2, N3 (natural, without recent human interference), R1, R2 and R3 (in rehabilitation, with variations in the plant species).

(**) Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo Teste de Duncan a 5% de significância. Means followed of the same letter do not differ for Duncan 5%.

Quanto ao IF, obtiveram-se correlações negativas e significativas com o DMG, DMP e ADA ($r=-0,94$; $-0,95$ e $-0,77$, respectivamente). Neste trabalho, embora as áreas em recuperação apresentassem maiores teores de argila e IF, apresentaram os menores valores de DMG, contrário ao observado por Dufranc et al. (2004), em que as áreas com menor teor de argila também foram aquelas com menores índices de estabilidade. Porém, neste caso, isto pode ser explicado pelo teor de matéria orgânica, onde a área N1, que apresentou os menores valores de IF (Tabela 1) foi também aquela que apresentou os maiores valores de DMG (Tabela 2) e matéria orgânica (Tabela 1), ou seja, apesar de floculado pouco (percentualmente), formaram-se agregados com maiores diâmetros, possivelmente devido ao maior valor de matéria orgânica no solo desta área.

Na Figura 2, estão demonstrados os resultados da análise visual da qualidade do solo. Pode-se observar uma considerável diferença entre as seis áreas em estudo, onde as três áreas consideradas naturais apresentaram melhores atributos de solo e vegetação que as outras três em recuperação.

Das áreas em recuperação, os melhores parâmetros, e conseqüentemente, as maiores notas, foram obtidas na área R1, e as menores na área R3. Comparando-se a média das áreas naturais com as áreas R1, R2 e R3, observou-se um déficit de 24%, 44% e 66%, respectivamente. O grande déficit observado na área R3 ocorreu principalmente devido ao baixo índice cobertura do solo, erosão aparente, baixa diversidade de vegetação, baixa quantidade de serapilheira, baixa decomposição, e pouca incorporação de serapilheira no solo. Os dados são confirmados pelo baixo crescimento radicular (Figura 1) e matéria orgânica (Tabela 1) e menor índice de agregados acima de 2 mm (Tabela 2).

As demais áreas em recuperação apresentaram deficiência moderada, em relação às áreas naturais, principalmente quanto à cobertura do solo, erosão aparente e serapilheira (quantidade, estado de decomposição e incorporação).

O agrupamento das áreas, nas duas profundidades, em função dos atributos físicos estudados, encontra-se representado na Figura 3.

O agrupamento das áreas foi diferente em função das profundidades de solo.

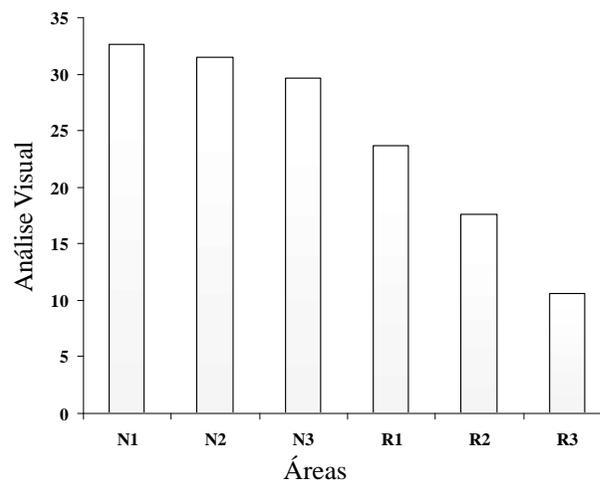


Figura 2 – Análise visual da qualidade do solo, realizada no período do inverno, em diferentes áreas de estudo. N1, N2 e N3 (naturais, sem interferência antrópica recente) e R1, R2 e R3 (em recuperação, com variações no estado de revegetação). (*) Déficit de qualidade visual das áreas em recuperação com relação à média das áreas naturais.

Figure 2 – Visual analysis of the soil quality, in the Winter, on different areas. N1, N2 and N3 (natural, without recent human interference) and R1, R2 and R3 (in rehabilitation, with variations in the plant species). (*) Deficit on visual quality of degraded areas in relation to the mean of natural areas.

A 50% de similaridade, na profundidade de 0-10 cm, dois grandes grupos se formaram: grupo 1 com as áreas N1, N3 e R3 e o grupo 2 com as áreas N2, R1 e R2. De acordo com os atributos físicos analisados, aquele que mais contribuiu para que as áreas N2, R1 e R2 formassem um grupo com 65% de similaridade foi principalmente o crescimento radicular (Figura 1), sendo os menores valores deste mesmo atributo responsável pelo agrupamento das áreas N1, N3 e R3, as quais apresentaram cerca de 60% de similaridade (Figura 3a).

Para a profundidade de 10 – 20 cm (Figura 3b), a 50% de similaridade, dois grupos também foram formados: um somente pela área R3 e o outro

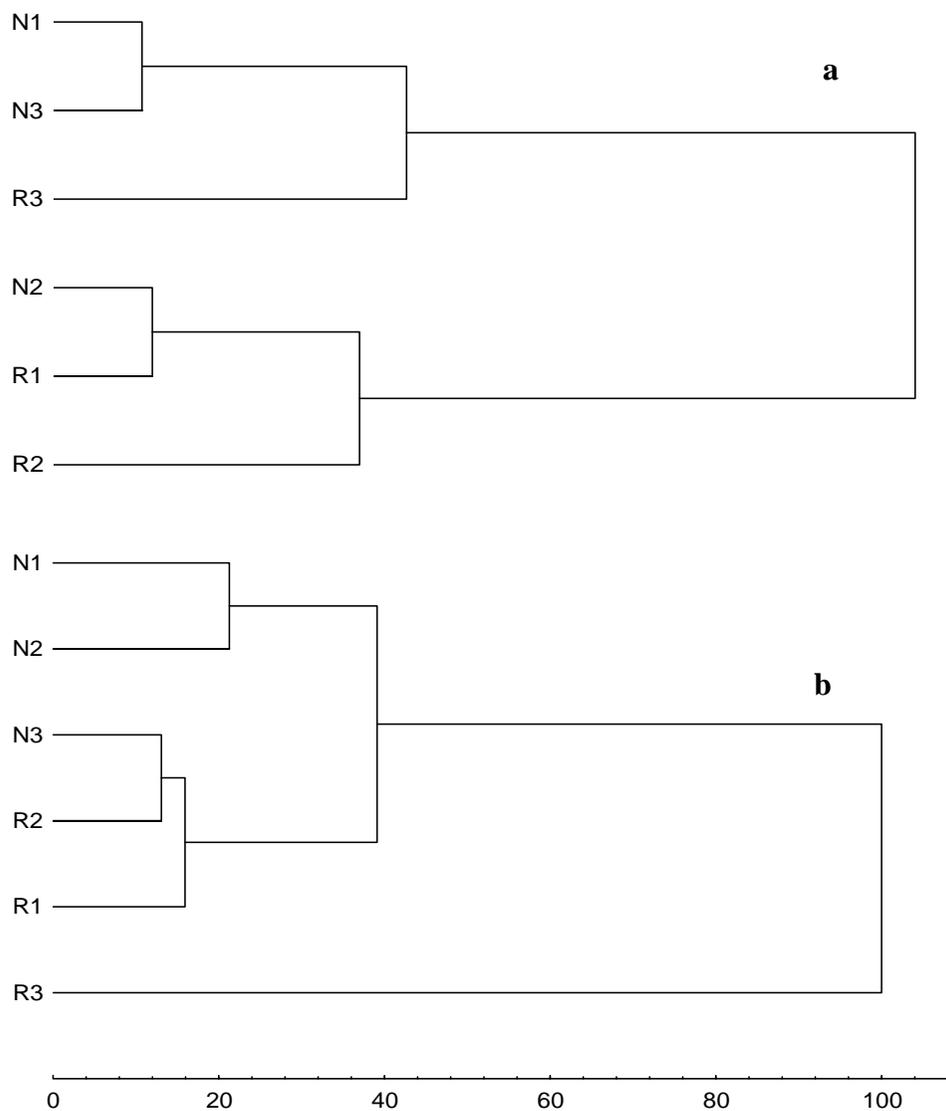


Figura 3 – Dendrogramas de similaridade das diferentes áreas de estudo, e em diferentes profundidades (**a**: 0 – 10 cm e **b**: de 10 – 20 cm), construídos pelos atributos físicos: crescimento radicular, densidade de partículas, densidade do solo, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico, volume total de poros e índice de flocculação. N1, N2 e N3 (naturais, sem interferência antrópica recente) e R1, R2 e R3 (em recuperação, com variações no estado de revegetação).

Figure 3 – Similarity dendrograms of the different areas of study, at different depths (**a**: 0 - 10 cm and **b**: of 10 - 20 cm), constructed for the physical attributes: root growth, particle density, soil density, mean weighed average diameter, mean geometric diameter, total volume of pores and flocculation index. N1, N2 and N3 (natural, without recent human interference) and R1, R2 and R3 (in rehabilitation, with variations in the vegetation condition).

formado pelas demais áreas. As áreas N1 e N2 apresentaram-se com 80% de similaridade, e as áreas R1, R2 e N3 com 85% de similaridade. Os atributos que mais contribuíram para essa divisão em dois grandes grupos foram, principalmente, o baixo crescimento radicular (Figura 1) e os menores valores de DMP e DMG das amostras de solo da área R3 (Tabela 2).

Assim, verificou-se que houve grande variação no agrupamento e maior diferenciação das áreas em estudo, quando os atributos foram analisados até a profundidade de 10 cm (Figura 3a). Menores oscilações e menores diferenças foram detectadas além de 10 cm (Figura 3b), com quase a totalidade das áreas, exceto R3, agrupadas com 60% de similaridade. Este resultado indica que, para estudo da qualidade do solo utilizando estes atributos físicos, a profundidade de coleta de amostras deve ser de até 10 cm, região com maior potencial de discriminação das áreas, em virtude do maior efeito das raízes e matéria orgânica.

4 CONCLUSÕES

Crescimento radicular, diâmetro médio ponderado e diâmetro médio geométrico dos agregados possibilitaram discriminação das áreas naturais e aquelas em recuperação, e apresentam potencial de aplicação em estudos de avaliação da qualidade de solos. Em contrapartida, densidade de partículas, densidade do solo, volume total de poros e classe textural não foram considerados bons indicadores físicos da qualidade do solo das áreas em estudo.

As áreas em recuperação R1 e R2, apresentaram maior grau de recuperação, em função dos maiores valores de crescimento radicular, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico dos agregados e índice de floculação, em detrimento da área R3, considerada a mais distante das demais áreas do ponto de vista da qualidade.

A análise visual permite a quantificação do grau de recuperação das áreas impactadas e pode ser usada como ferramenta auxiliar nos estudos da qualidade dos solos.

A análise de agrupamento das áreas permite concluir que em avaliações da qualidade do solo por atributos físicos, a profundidade de coleta mais recomendada é de até 10 cm.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANJOS, J. T.; UBERTI, A. A. A.; VIZZOTO, V. J.; LEITE, G. B.; KRIEGRER, M. Propriedades físicas do solo sob diferentes sistemas e usos de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, p. 139-145, 1994.
- BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 46, p. 2-36, 1991.
- DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v. 1, p. 545-566.
- DORAN, J. W.; SARRANTONIO, M.; LIEBIG, M. A. Soil health and sustainability. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 56, p. 1-54, 1996.
- DUFRANC, G.; DECHEN, S. C. F.; FREITAS, S. S.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos, químicos e biológicos relacionados com a estabilidade de agregados de dois latossolos em plantio direto no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 505-517, 2004.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- EPSTEIN, E. Effect of sewage sludge on some soli physical properties. **Journal of Environmental Quality**, [S.l.], v. 4, p. 139-142, 1975.
- EVERITT, B. S. **Cluster analysis**. New York: J. Wiley, 1993. 170 p.
- FERREIRA, M. M.; DIAS JÚNIOR, M. S. **Roteiro de aulas práticas de física do solo**. Lavras: UFLA, 1996. 35 p.
- GARLYND, M. J.; ROMIG, D. E.; HARRIS, R. F.; KURAKOV, A. V. Descriptive and analytical characterization of soil quality/health. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D. C.; BEZDICEK, D. F.; STEWART, B. A. (Eds.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: SSSA, 1994. p. 159-168. (Special publication, 35).

- JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 237-240, 1991.
- KARMANOV, I. I.; FRIYEV, T. A. Site quality on ecological soil indices. **Soil Survey and Land Evaluation**, Norwich, v. 5, n. 2, p. 40-48, 1982.
- MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; DIAS, H. S. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 703-709, 1999.
- MELLONI, R. **Densidade e diversidade de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares em solos de mineração de bauxita**. 2001. 173 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: UFLA, 2002. 626 p.
- RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. V. **Comissão de fertilidade do estado de MG: recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: UFV, 1999.
- ROMIG, D. E.; GARLYND, M. J.; HARRIS, R. F.; McSWEENEY, K. How farmers assess soil health and quality. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 50, p. 229-236, 1995.
- SILVEIRA, R. B.; MELLONI, R.; MELLONI, E. G. P. Atributos microbiológicos e bioquímicos como indicadores da recuperação de áreas degradadas, em Itajubá/MG. **Revista Cerne**, Lavras, v. 12, n. 1, p. 48-55, jan./mar. 2006.
- SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M.; GRISI, B. M.; HUNGRIA, M.; ARAÚJO, R. S. **Microorganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 1994. 142 p. (Documento, 45).
- SOUZA, Z. M.; BEUTLER, A. N.; MELO, V. P.; MELO, W. J. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 29, p. 117-123, 2005.
- SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeitos de sistemas de produção de grãos envolvendo pastagens sob plantio direto nos atributos físicos de solo e na produtividade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, p. 533-542, 2004.
- STATISTICA. **Statistic analysis**. Versão 5.0. [S.l.], 1995.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. The management of ryegrass to stabilize aggregates of a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 18, p. 415-422, 1980.
- WEI, Q. F.; LOWERY, B.; PERTERSON, A. E. Effect of sludge application on physical properties of a silty clay loam soil. **Journal of Environmental Quality**, [S.l.], v. 14, p. 178-180, 1985.
- WISCHMEIER, W. H. Surface runoff in relation to physical and management factors. In: PANAMERICAN SOIL CONSERVATION CONGRESS, 1., 1966, São Paulo. **Proceedings...** São Paulo: SBCS, 1966. p. 237-244.
- ZONTA, E. P.; MACHADO, A. A.; SILVEIRA JÚNIOR, P. **Sistemas de análise estatística para microcomputadores (SANEST)**. Pelotas: UFPel, 1984. 151 p.