UNIVERSIDADE CATÓLICA DE BRASÍLIA

PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Curso de Engenharia Ambiental

UTILIZAÇÃO DO NOMOGRAMA DE WISCHMEIER *ET AL.* (1971) PARA DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE SUBSTRATOS MINERADOS NO DISTRITO FEDERAL.

Autores: Célia Farias de Almeida Silva
Enos de Oliveira Porto
Júnia de Oliveira Porto

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Macedo de Mello Baptista

BRASÍLIA

2008

UTILIZAÇÃO DO NOMOGRAMA DE WISCHMEIER *et al.* (1971) PARA DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE DE SUBSTRATOS MINERADOS NO DISTRITO FEDERAL.

Célia Farias de Almeida Silva
Enos de Oliveira Porto
Júnia de Oliveira Porto
farias_celia@brturbo.com.br
enosporto@gmail.com
júnia.junia@gmail.com
Gustavo Macedo de Mello Baptista
gustavom@ucb.br

RESUMO

O presente trabalho consiste na determinação dos valores de erodibilidade, Fator K, de áreas mineradas no Distrito Federal, utilizando-se do método indireto do Nomograma de Wischmeier *et al*. (1971), fator esse que é considerado um dos mais importantes na predição da erosão e na avaliação da magnitude de perda de material do solo. O método indireto consistiu na determinação das porcentagens de silte + areia muito fina, areia, matéria orgânica, por meio de ensaios laboratoriais, estrutura e permeabilidade, resultantes da observação *in situ,* para posterior utilização no nomograma. Os valores de K obtidos variaram de 0,046 a 0,005 t.h/MJ.mm. Notou-se que os valores do fator K encontrados para os substratos mantiveram-se muito próximos dos valores para os solos, encontrados na literatura pesquisada. O conhecimento do fator K para substratos expostos pela atividade mineradora no DF, cujas áreas degradadas correspondem a mais de três mil hectares, é de suma importância, especialmente no intuito de auxiliar no desenvolvimento de projetos de recuperação dessas áreas, assim como no planejamento do uso e ocupação do solo do Cerrado.

Palavras-chave: Áreas mineradas, Fator K, Nomograma, Cerrado.

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Católica de Brasília, como requisito para obtenção ao título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O artigo foi aprovado por: Gustavo Macedo de Mello Baptista – Orientador e Glauceny Cirne de Medeiros – Examinador. Brasília, 19 de junho de 2008.

ABSTRACT

The present work consists of the determination of the values of erodibilidade, Factor K, of mining area in Federal District, being used of the indirect method of the Nomograph Wischmeier and Mannering (1971), this factor is one of the most important considered in the prediction of the erosion and in the evaluation of the magnitude of loss of material of the soil. The indirect method consisted of the determination of the silte percentages + sand very fine, sand, organic matter, through rehearsals laboratories, structures and permeability, resultants of the observation in situ, for subsequent use in the nomograph. Values of K were obtained that varied of 0,046 to 0,005 t.h/MJ.mm. It was noticed that the values of the factor K found for the substrate stayed very close of the values for the soils, found in the researched literature. The knowledge of the factor K for exposed substrata for the activity of mining in DF, whose areas degraded correspond the more than three thousand hectares, is from addition importance, especially in the intention of aiding in the development of projects of recovery of those areas, as well as in the planning of the use and occupation of the soil of the Savannah.

Keywords: Mined area, Factor K, Nomograph, Savannah.

1. INTRODUÇÄO

A exploração mineral é uma atividade indispensável para a sociedade moderna, dada a importância que os bens minerais e derivados assumiram na economia mundial. No entanto, sua utilização implica diretamente na manipulação de ambientes naturais da superfície terrestre, o que provoca grandes modificações ao meio ambiente, tendo um forte efeito perturbador na paisagem.

O Distrito Federal está próximo de completar meio século de urbanização e, conseqüentemente, de exploração de materiais para a construção civil: areia, saibro, cascalho, argila e outros (CORRÊA e BAPTISTA, 2006).

O somatório dessas áreas degradadas pela extração de minérios Classe II, jazidas de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil, corresponde a mais de três mil hectares no DF e os substratos expostos são geralmente compactados, apresentando assim, mínima capacidade de armazenamento de água, baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes vitais do solo (PINHEIRO e CORRÊA, 2004 *apud* FRANÇOSO e CORRÊA, 2007).

Diante disso, essas áreas degradadas tornam-se susceptíveis aos processos erosivos, ou seja, consistem no processo de desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (plantas e animais).

Para estabelecer matematicamente a relação existente entre os tipos de solo, feições da paisagem e da vegetação com a taxa de degradação do solo, estudos quantitativos das perdas de solos foram conduzidos, desde meados de 1915.

Subsidiada por equações empíricas desenvolvidas, Wischmeier e Smith (1978) criaram uma das mais aceitas e utilizadas, a Equação Universal de Perda de Solo (USLE – *Universal Soil Loss Equation*) que pode "prognosticar a erosão superficial que ocorre pelo processo de destacamento e transportes de partículas individuais determinando essa perda por características físicas, químicas e estruturais do solo" (MAFRA, 2007). A equação prediz a média de perda do solo como uma função da chuva (fator R), da erodibilidade do solo (fator K), do comprimento da rampa (fator L), da declividade do terreno (fator S) e do uso e manejo (fator C) e de práticas conservacionistas (fator P). Segundo Baptista (2003), é definida pela Equação (1):

$$A = R \times \mathbf{K} \times L \times S \times C \times P \qquad (1)$$

Onde:

A = perda de solo (t/ha)

R = fator erosividade da chuva (Mj.mm/ha.h.ano

K = fator erodibilidade do solo (t.h/MJ.mm)

L = fator comprimento de rampa (adimensional)

S = fator declividade (adimensional)

C = fator uso e manejo (adimensional)

P = fator práticas conservacionistas (adimensional)

Por meio da USLE quantifica-se a perda de solo por erosão laminar ou superficial, que se caracteriza pelo "escoamento da água que não se infiltra e está associada ao transporte, seja das partículas ou agregados desprendidos, [...] arrancados pela força atrativa desenvolvida entre a água e o solo" (CARVALHO, 2006) cujos valores são representados em $t.ha^{-1}$, a partir do cálculo dos índices de cada componente da equação. Esse cálculo é tanto mais preciso quanto menor a parcela de área estudada, tendo em vista as variações espaciais normalmente observadas nos terrenos com relação aos fatores analisados (SALOMÃO, 1999).

Dentre estes fatores observados na equação da USLE, a erodibilidade inerente ao solo (Fator K), expressa quantitativamente a suscetibilidade do solo à erosão hídrica e depende de atributos como capacidade de infiltração de água, resistência à desagregação e ao transporte de partículas e pequenos agregados (SÁ *et al.*, 2004). Segundo Baptista (2003), esse fator é considerado o mais importante na predição da erosão e na avaliação da magnitude de perda do material, especialmente devido ao fato de auxiliar no planejamento de seu controle, ou seja, da erosão, e do uso do solo.

O fator K pode ser determinado diretamente no campo, sob chuva natural ou simulada, o que demanda tempo e altos custos ou por métodos indiretos estimados por meio de modelos matemáticos, normalmente baseados em equações empíricas, que empregam como variáveis atributos relacionados direta ou indiretamente com a resistência do solo à erosão (DENARDIN, 1990; MARQUES *et al*., 1997; SILVA *et al*., 1999 *apud* SÁ, 2004).

Os métodos indiretos foram testados por vários autores, dos quais se citam Wischmeier e Mannering (1971); Freire e Pessoti (1974); Lnec, citado por Fonseca (1981); Bouyoucos, citado por Bertoni e Lombardi Neto (1985); Denardin (1990); Freire *et al.,* (1991); e Chaves (1994), apresentam elevada correlação com os resultados obtidos pelos métodos diretos.

Para tanto, na determinação da erodibilidade de substratos minerados do cerrado,

necessária para se conhecer a real susceptibilidade de áreas mineradas expostas, o método empregado foi o indireto, ressaltando-se que o material estudado não pode ser considerado solo, pois o substrato constitui-se o horizonte C o qual possui características diferentes do horizonte A, comumente utilizado na USLE.

Entretanto, Corrêa (2006) afirma não existirem trabalhos para a determinação de K em horizontes expostos de áreas mineradas no Cerrado, apenas uma aproximação. Dessa forma, entendeu-se que era necessário o conhecimento dos níveis de erodibilidade dos substratos expostos pela mineração, especialmente no intuito de auxiliar no desenvolvimento de projetos de recuperação dessas áreas, assim como no planejamento da ocupação e do uso do solo do Cerrado.

Para tal finalidade, foi empregado nesse trabalho o Nomograma de Wischmeier *et al*., (1971), o método indireto que mais se aproxima dos resultados do método natural. Tendo sido testado inicialmente por Mafra (2007) mostrou-se eficiente e prático na obtenção do fator K de substratos minerados. A partir de então, este trabalho propôs-se a dar prosseguimento na realização de mais ensaios para aumentar a gama de informações a respeito de substratos minerados do cerrado.

Utilizando-se do Nomograma de Wischmeier *et al.* (1971) determina-se a erodibilidade relacionando os teores de silte + areia muito fina, areia e matéria orgânica, além de outros dados obtidos em campo como permeabilidade e estrutura. Segundo suas pesquisas, "o teor de matéria orgânica tem maior influência justamente sobre os solos com maiores teores de silte, porque, nos solos com maior teor de argila, esta pode atuar no sentido de aumentar a resistência dos agregados ao impacto das gotas de chuva" (WISHMEIER e MANNERING, 1969 *apud* SALOMÃO, 1999).

Dentro desse contexto, realizou-se o presente trabalho com o objetivo de determinar o coeficiente de erodibilidade de substratos minerados do Distrito Federal por meio do método indireto do Nomograma de Wischmeier *et al.* (1971).

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MATERIAL

2.1.1 Pontos de amostragem

Foram utilizadas amostras dos substratos expostos de nove áreas situadas em diversas regiões do Distrito Federal (Figura 1), localizado no Planalto Central Brasileiro, região Centro-Oeste do país.

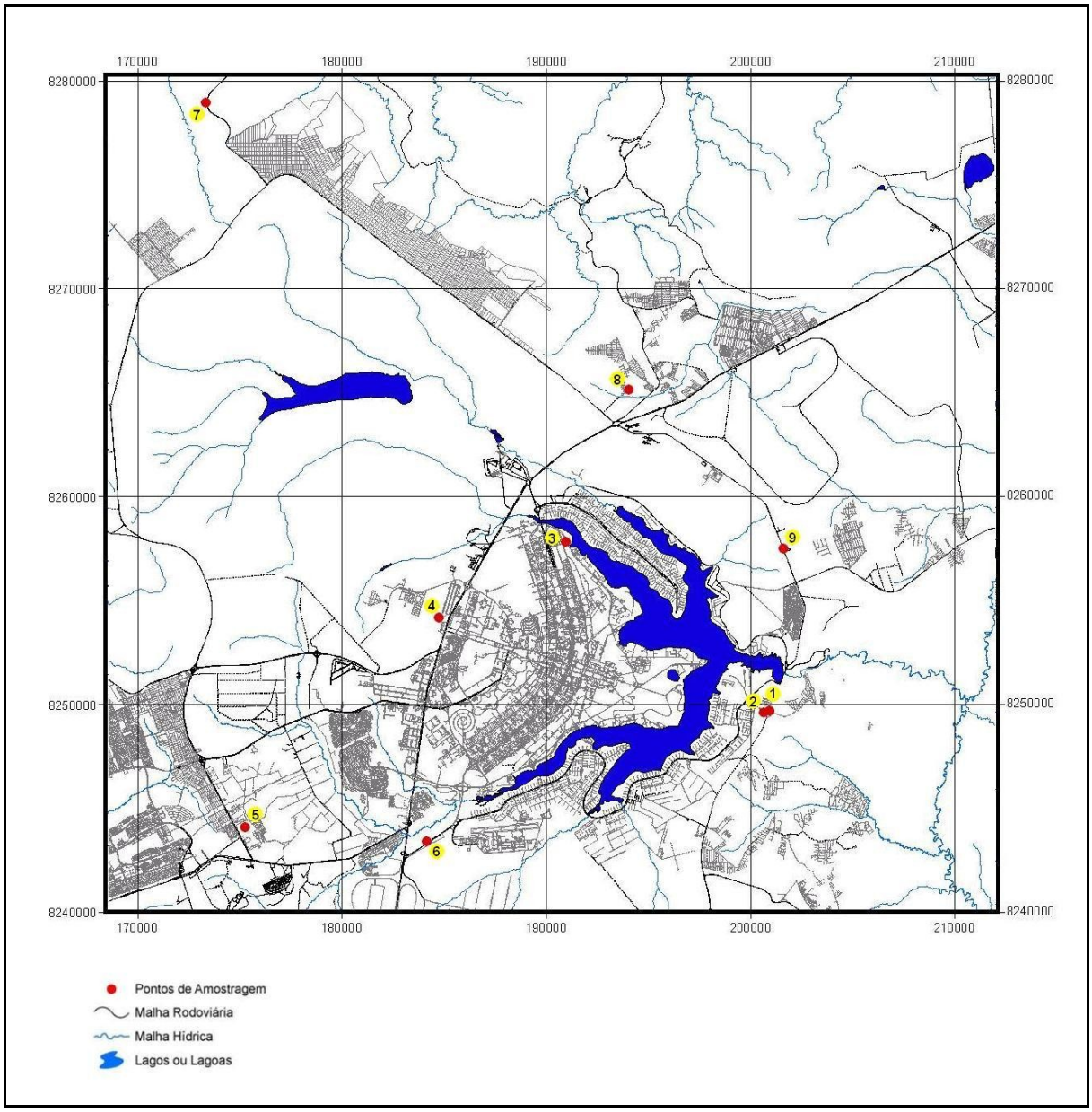

Figura 1 – Localização dos pontos de amostragem

Os substratos analisados foram coletados em duas cascalheiras (pontos 3 e 6), cinco áreas de empréstimo (pontos 1, 2, 4, 7 e 9) , um areal (ponto 8) e uma bacia de infiltração (ponto 5). A coleta de amostras compostas foi realizada na superfície do substrato, pois, é nesta parte que se iniciam os processos erosivos.

Os pontos 1 e 2 localizam-se na QI 29 do Lago Sul, sendo que o ponto 1 corresponde à área de empréstimo da barragem do Lago Paranoá e o ponto 2, corresponde a uma área explorada mais recentemente. Uma parcela dessa área encontra-se ainda alterada, sendo que outra parcela está sendo recuperada.

A amostra 3 foi coletada na área pertencente ao Arboreto da Universidade de Brasília – UnB que possui uma extensão de aproximadamente 1,5 hectares. Nos anos 70, o arboreto foi usado para exploração de cascalho, sendo que o perfil foi cortado e retirado até a profundidade de 1m, alcançando o horizonte C. Ficou abandonado a partir do ano de 1994 deixando apenas a existência de três testemunhos arbóreos no local e, em 2002, observou-se parte da recolonização da área (FRANÇOSO e CORRÊA, 2007). O material coletado é de textura mais arenosa.

A área de empréstimo da Rede Ferroviária Federal S.A. – RFFSA, ponto 4 de amostragem, representa a segunda maior área degradada do Distrito Federal (CORRÊA *et al*., 2004).

O ponto de amostragem 5 escolhido é uma bacia de infiltração. Trata-se de uma depressão no terreno inserido no Campus I da Universidade Católica de Brasília – UCB localizado na cidade de Taguatinga – RA IV que recebe escoamento de águas pluviais da universidade. Por carrear os sedimentos do local em que se encontra, sua superfície possui uma maior concentração de matéria orgânica, além de promover recarga da água subterrânea, dessa forma constitui-se um importante ponto para a determinação da erodibilidade do terreno.

O ponto 6 está localizado na Área de Relevante Interesse Ecológico do Santuário de Vida Silvestre do Riacho Fundo. A área experimental lavrada na década de 1970 tem 1,5 hectares de extensão e com cerca de um 1m de profundidade de corte e não apresenta qualquer sinal de regeneração natural (CORRÊA e SILVA, 2007).

O ponto 7 representa a área de empréstimo ao lado da DF 170 Km 8 situada no Lago Oeste – Núcleo Rural Integrante da Região Administrativa de Sobradinho inserido na Área de Proteção Ambiental – APA do Cafuringa e circunvizinha ao Parque Nacional de Brasília. Origina-se de uma atividade de exploração irregular como muitas outras observadas e não sofreu ainda nenhum processo de recuperação.

O ponto 8 consiste em uma área de exploração de areia saibrosa e areia rosa licenciada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais – IBAMA no bairro Grande Colorado cidade de Sobradinho. A licença de operação (n° 011/2003, DNPM n°1261/03) expedida em 2003.

O ponto 9 situa-se ao lado da DF 001 Km 3 Estrada Parque Contorno – EPCT próximo a Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL e a cidade de Itapuã, Região Administrativa – RA XXVII. Atividade exploradora ilegal mostrou-se recente e com aproximadamente 3,20m de profundidade de corte.

O conjunto litológico observado nas áreas selecionadas constitui o grupo Paranoá, o qual apresenta idade Meso/Neoproterozóico. Os pontos 1, 2, 5 e 9 de amostragem, caracterizam-se dentro da unidade metarritmito arenoso. Localmente, podem ocorrer camadas de quartzitos estratificados e mais raramente são observados em poços, lentes de metacalcário micrítico cinza. Essa unidade aflora de forma restrita em janelas estruturais no interior do domo estrutural de Brasília (região da depressão do Paranoá) (CAMPOS e SILVA, *apud* MAFRA, 2007). Os metarritimitos apresentam alternância de níveis de granulometrias (areia, silte e argila) (MARTINS *et al*., 2004, *apud* MAFRA, 2007).

O ponto de amostragem 3 encontra-se numa região de metassiltitos argilosos, enquanto que os pontos 4 e 6, situam-se na região de ardósias, são constituídos por um expressivo conjunto de ardósias roxas, homogenias, dobradas, com forte clivagem ardosiana e com ocasionais lentes irregulares de quartzitos, que ocupam variadas posições estratigráficas (CAMPOS e SILVA, 2007, *apud* MAFRA, 2007).

O ponto 7 encontra-se na unidade metarritmito argiloso onde compreende metarritmitos homogêneos com intercalações centimétricas regulares de metassiltitos, metalamitos e quartzitos finos que apresentam coloração cinza, amarelada, rosada ou avermelhada em função dos diferentes graus de intemperismo (NASCIMENTO, 2003).

O ponto 8 constitui-se pela unidade quartzito médio, a qual, segundo Nascimento (2003), caracteriza-se de quartzitos finos a médios muito localmente grossos, brancos ou cinzas (cinza escuro quando fresco), bem selecionados, maturos mineralogicamente, em geral muito silicificados e intensamente fraturados.

No que se refere à geomorfologia os pontos 1, 2, 4, e 9 estão situados no pediplano de Brasília atingindo uma altitude entre 950 – 1200m; o ponto 3, está localizado sob uma planície aluvionar (inferior a 800m), também conhecida como planície de inundação, região de deposição de sedimentos; os pontos 5, 7 e 8, encontram-se no pediplano contagem rodeador, região de maior altitude, 1200 – 1400m; e o ponto 6 em uma região de depressões interplanais, 800 – 950m (CODEPLAN, 1984).

2.1.2 Material para coleta

Para a coleta de amostras utilizou-se enxada e sacos plásticos. Os pontos de amostragem foram registrados por meio de máquina fotográfica e GPS.

2.1.3 Material para a realização de ensaios laboratoriais

❖ **Preparação das amostras**

- almofariz e mão de gral;
- repartidor de amostras;
- balanças que permitam pesar nominalmente 1,5 Kg, 10Kg e 20kg, com resolução de 0,1g, 1g e 10g, respectivamente, e sensibilidades compatíveis;
- peneiras de 4,76 – 2,00 – 0,42 mm, de acordo com a NBR 5734 (peneiras para ensaio – especificações);
- bandejas metálicas

❖ **Determinação de umidade higroscópica**

- balança analítica que permite pesar nominalmente 200 g, com resoluções de 0,01 g;
- estufa com temperatura de 105°C;
- dessecador com sílica-gel;
- cápsulas;

❖ **Determinação de matéria orgânica:**

- estufa com temperatura de 105°C;
- mufla à temperatura de 440°C;
- cápsulas de porcelana, capacidade mínima de 100ml;
- dessecador com sílica-gel;
- balança analítica com precisão de 0,01g;
- pinça metálica, espátula e papel alumínio.

❖ **Determinação de granulometria (sedimentação, massa específica e peneiramento fino):**

- estufa capaz de manter a temperatura entre 105° e 110°C;
- balança analítica que permite pesar nominalmente 200 g, com resoluções de 0,01 g;
- solução de hexametafosfato de sódio;
- dessecador com sílica-gel;
- aparelho de dispersão, com hélices substituíveis e copo munido de chicanas (astes que servem como parâmetro de medida);

- proveta de vidro, com cerca de 450 mm de altura e 65 mm de diâmetro, com traço de referência indicando 1000 ml;
- densímetro de bulbo simétrico, calibrado a 20°C e com resolução 0,001, graduado de 0,995 a 1,050g/cm^3;
- termômetro graduado em 0,1°C, de 0°C a 50°C;
- relógio com indicação de segundos (cronômetro);
- béquer de vidro, com capacidade de 250 ml;
- proveta de vidro, com capacidade de 250 ml;
- peneiras de 2,0 – 1,19 – 0,59 – 0,42 – 0,25 – 0,149 – 0,075 mm, de acordo com a NBR 5734;
- escova com cerdas metálicas;
- agitador mecânico de peneiras, com dispositivo para fixação de até seis peneiras, inclusive tampa e fundo;
- baqueta de vidro;
- cápsulas;
- pisseta;
- balão volumétrico de 500 ml, calibrado a 20°C;
- bomba de vácuo com registros, vacuômetro e conexões, capaz de aplicar um vácuo de 88 kPa (66 cm de Hg a 0°C);
- funil de vidro;
- conta-gotas.

2.2 MÉTODOS

Com a finalidade de se determinar o coeficiente de erodibilidade dos substratos minerados, o fator K da USLE, utilizou-se o Nomograma de Wischmeier *et al.* (1971), figura 2. Para sua utilização, fez-se uso de cinco parâmetros do material coletado: teores de silte + areia muito fina, areia, matéria orgânica, permeabilidade e estrutura.

Para a obtenção dos dados necessários foram realizados ensaios laboratoriais, em triplicata, de umidade higroscópica, matéria orgânica e granulometria (massa específica, sedimentação, peneiramento fino).

Foram seguidos os critérios normatizados na Associação Brasileira de Normas Técnicas e Norma Brasileira Regulamentadora – ABNT/NBR's 6457/86, 13600/93, 7181/84, 6508/84 referentes à preparação das amostras e determinação da umidade higroscópica,

determinação da matéria orgânica e análise granulométrica (peneiramento, sedimentação e determinação da massa específica), respectivamente.

Os intervalos granulométricos observados para classificação do material são, para argila, diâmetros menores que 0,002mm; silte, entre 0,002 a 0,05mm; areia muito fina, entre 0,05 a 0,1mm; e areia, entre 0,1 a 2,0mm.

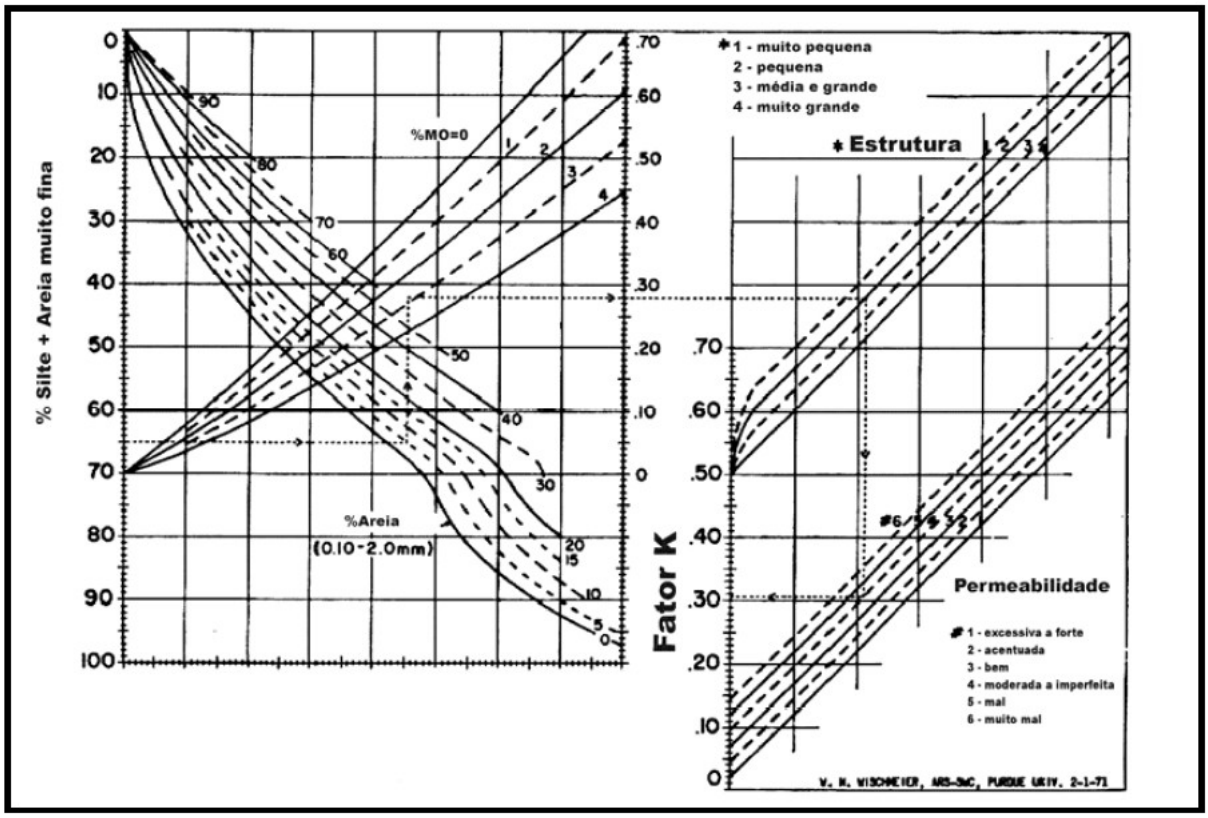

Figura 2 – Nomograma de Wischmeier *et al.* (1971).
Fonte: BAPTISTA, 2003.

Quanto aos parâmetros de estrutura e permeabilidade, esses foram obtidos por meio de observações *in situ* e classificados de acordo com a seus respectivos códigos demonstrados nos Quadro 1 e 2.

Quadro 1 – Código da estrutura do material

Estrutura	**Código do Nomograma**
muito pequena	granular muito fina – 1
pequena	granular fina – 2
média e grande	granular média ou grande – 3

muito grande	bloco ou maciça – 4

Fonte: BAPTISTA, 2003.

Quadro 2 – Código da permeabilidade do material

Permeabilidade	**Código do Nomograma**
excessiva a forte	rápida – 1
acentuada	moderada rápida – 2
bem	moderada – 3
moderada à imperfeita	lenta à moderada – 4
mal	lenta – 5
muito mal	muito lenta – 6

Fonte: BAPTISTA, 2003.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Granulometria

Na natureza, a distribuição dos percentuais de argila, silte e areia variam bastante ao longo de um terreno. De acordo com Duarte (2006) a forma em que esses diferentes tipos de grãos se distribuem é de extrema importância na dispersão da água no solo. Solos com maiores diferenças entre texturas apresentam diferenças quanto aos movimentos da água, e isso se torna mais evidente conforme o grau da diferença.

Através dos resultados obtidos no ensaio de granulometria possibilitou-se a construção da curva de distribuição granulométrica, tão importante para a classificação dos solos.

A figura 5 representa a distribuição granulométrica da área de empréstimo cujo material retirado teve como destinação a construção da barragem do lago Paranoá. Verifica-se que as porcentagens de silte e areia muito fina correspondem, respectivamente, a 11% e a 2%, sendo que a de areia é igual a 10%. O local apresentou-se compactado, fato esse justificado pela coesão proporcionada pela deposição do silte nas paredes dos poros e sobre os grãos de areia, o que causa um arranjo mais compacto de partículas (MITCHELL, 1976; SOUZA, 1996 *apud* SILVA. 2005).

A compactação também foi observada nos pontos de 2 a 7 e 9, com a granulometria de ambos apresentando valores simulares.

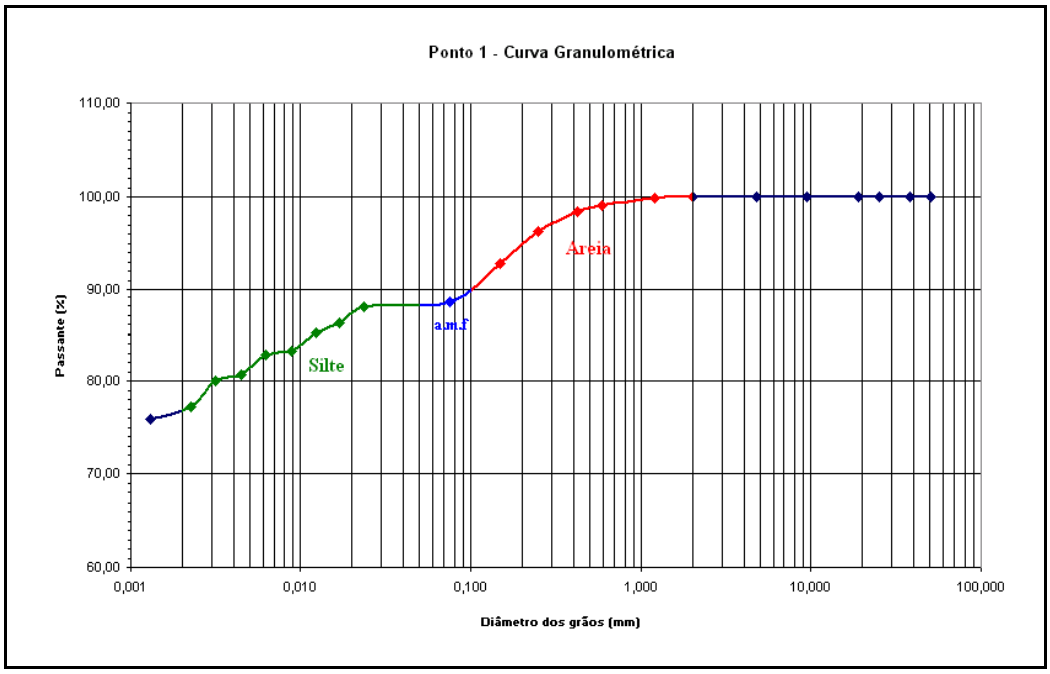

Figura 5 - Curva Granulométrica da amostra 1.

Na figura 6, a porcentagem de silte é de 11%, de areia muito fina 24%. Já para a fração areia, a porcentagem é de 7%. Essa região assemelha-se com a área do ponto 1, pois trata-se de um derivado de mesmo material, e da mesma forma que o anterior, encontrava-se compactado.

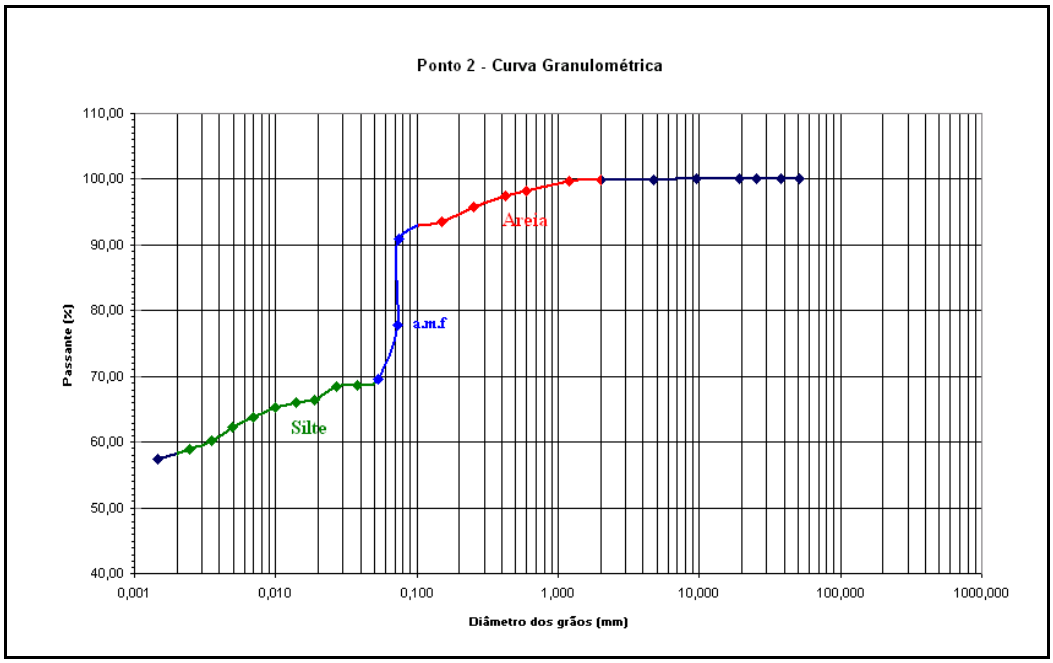

Figura 6 – Curva Granulométrica da amostra 2.

O ponto 3 representa a área do Arboreto da Universidade de Brasília (Figura 7), com o solo classificado como cambissolo, cujas porcentagens de silte, areia muito fina e areia corresponderam a 5,38%, 35,52% e 30,10%, respectivamente.

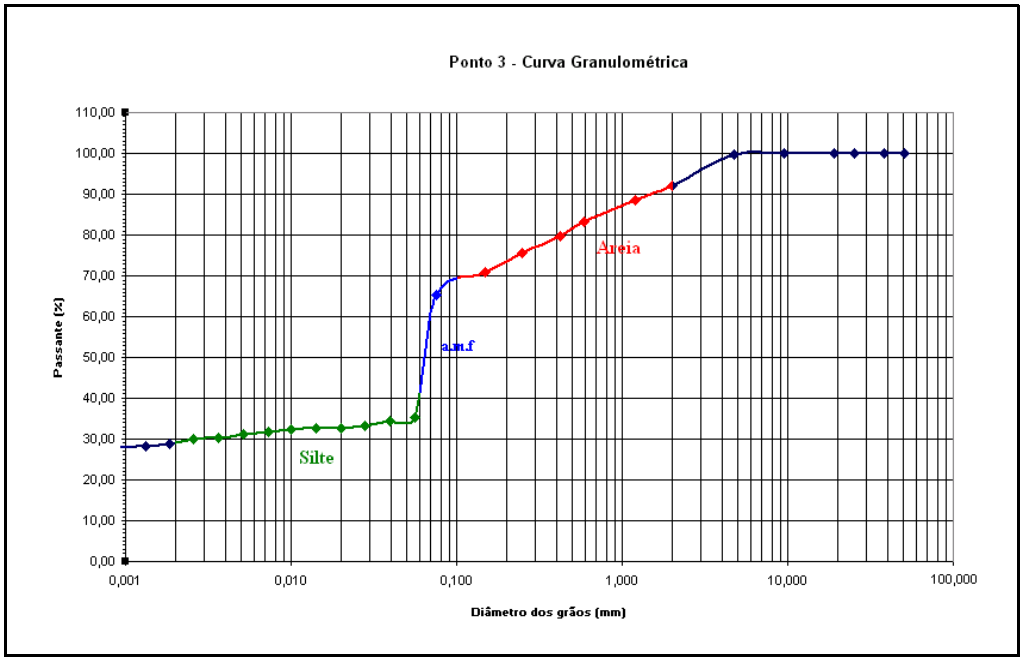

Figura 7 – Curva Granulométrica da amostra 3.

A próxima figura é a representação de uma área da RFFSA com solo de composição granulométrica de 16,31% de silte, 13,54% de areia muito fina e 22% de areia.

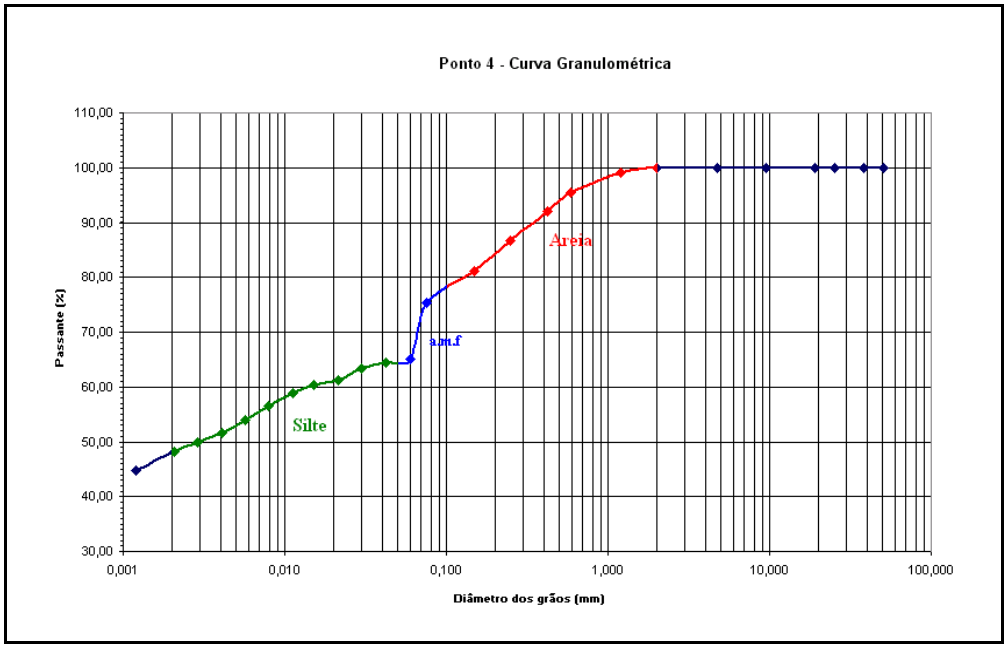

Figura 8 – Curva Granulométrica da amostra 4.

A amostra 5 foi coletada numa antiga bacia de infiltração, localizada em área pertencente à Universidade Católica de Brasília – Campus 1, em Taguatinga Sul (Figura 9). O solo é do tipo latossolo e servia como ponto receptor das águas pluviais da UCB. A porcentagem de silte é de 10,65%, areia muito fina 15,75% e areia 34,6%.

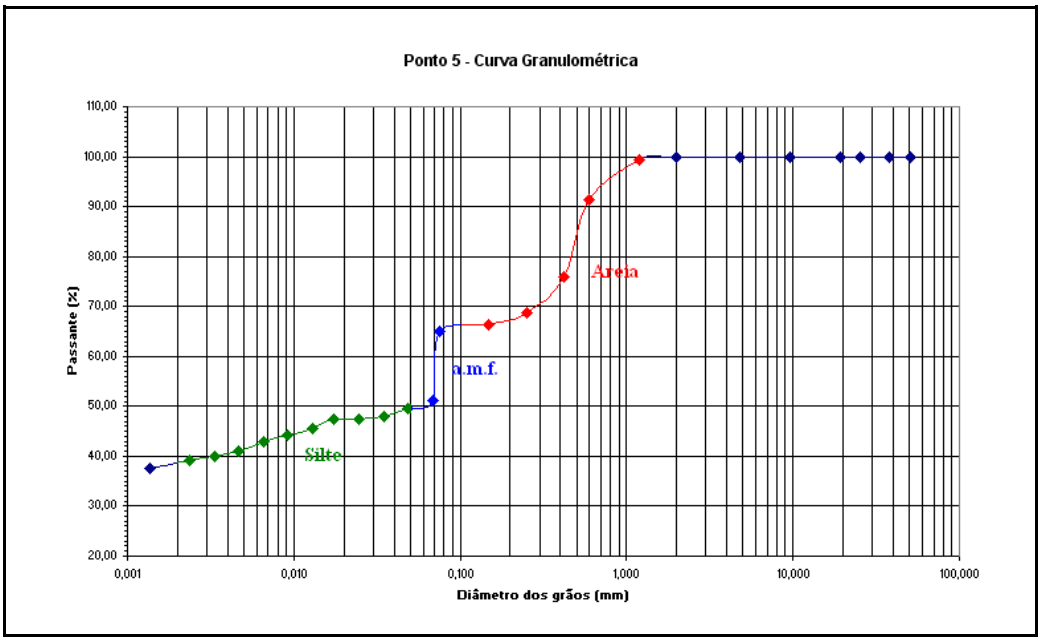

Figura 9 – Curva Granulométrica da amostra 5.

No ponto 6 foi coletada a amostra de área localizada no Santuário do Riacho Fundo (Figura 10). A porcentagem de silte + areia muito fina, igual a 34,08%, foi bem maior que a de areia, igual a 14%; sendo que aquelas corresponderam a 21,38% e a 21,7%, respectivamente.

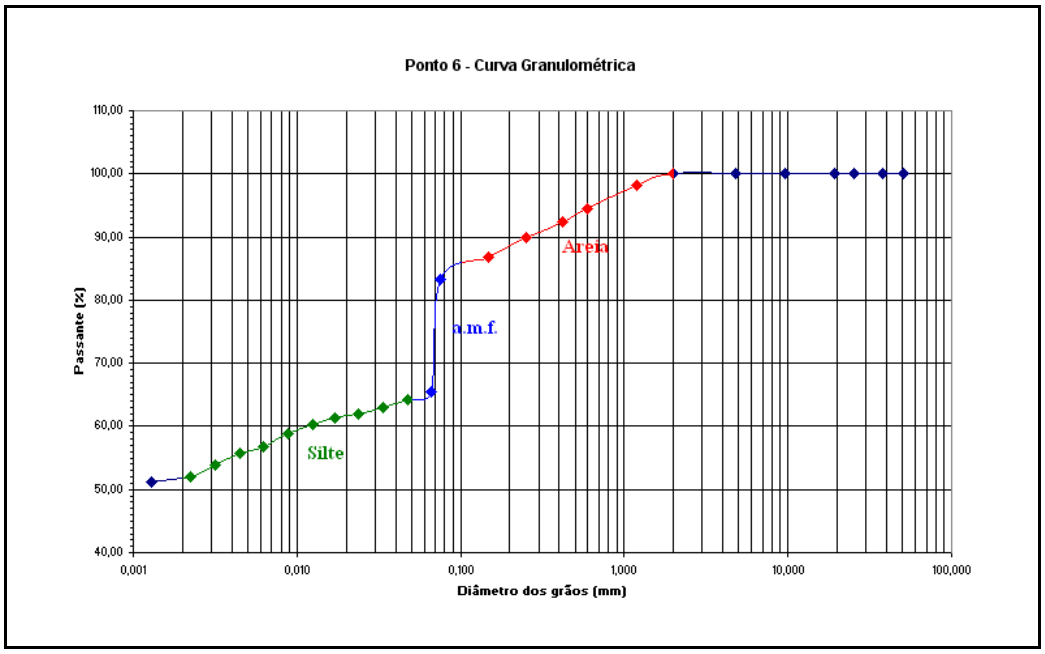

Figura 10 – Curva Granulométrica da amostra 6.

A figura 11 representa a granulometria da amostra coletada numa área de empréstimo abandonado, localizada no Lago Oeste, cujo substrato apresenta grande porcentagem de areia, correspondente a 48%, cujos teores de silte e areia muito fina são iguais a 2,88% e 33,15%.

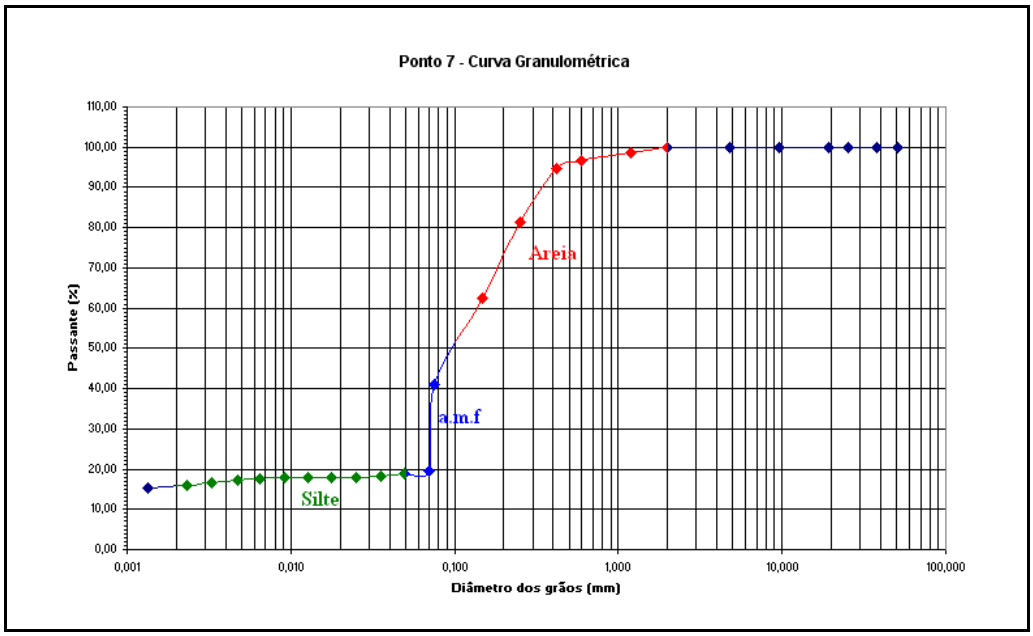

Figura 11 – Curva Granulométrica da amostra 7

Na área de exploração de areia saibrosa e areia rosa na região do Grande Colorado, Sobradinho (Figura 12), foi coletada a amostra 8, cujo teor de silte foi de 3,12%, de areia muito final, 3,88% e de areia, 75%. O valor elevado de areia, obtido por meio de ensaio granulométrico corroborou o observado em campo, já que a área é destinada à exploração de areia.

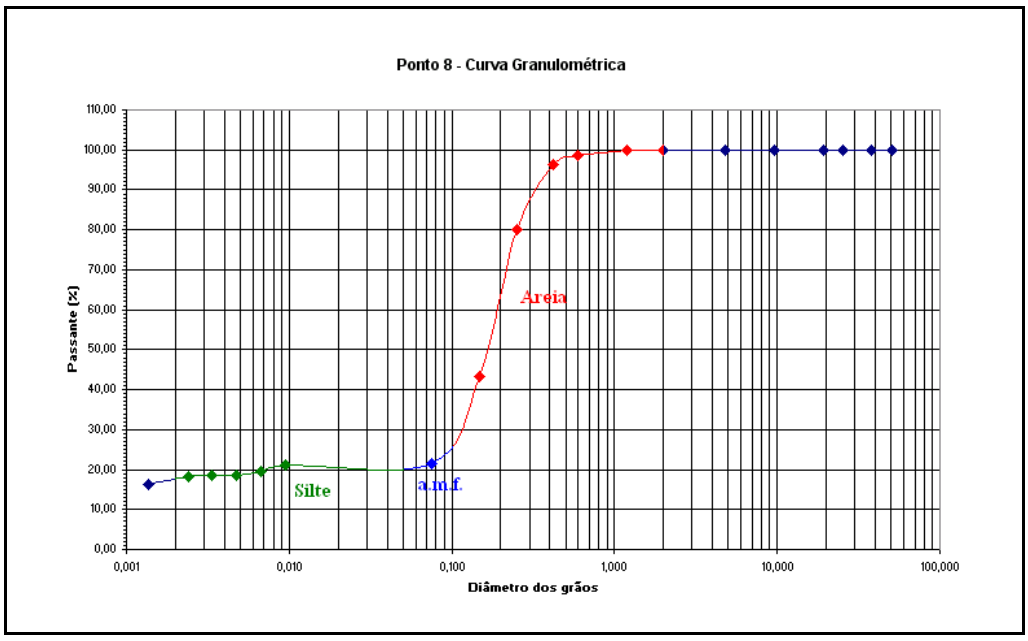

Figura 12 – Curva Granulométrica da amostra 8

Na amostra 9 (Figura 13), notou-se que as concentrações de silte (7,51%)+areia muito fina (37,1%.) e de areia são bastante próximas, com ambas equivalendo a 44,61% e 42%, respectivamente.

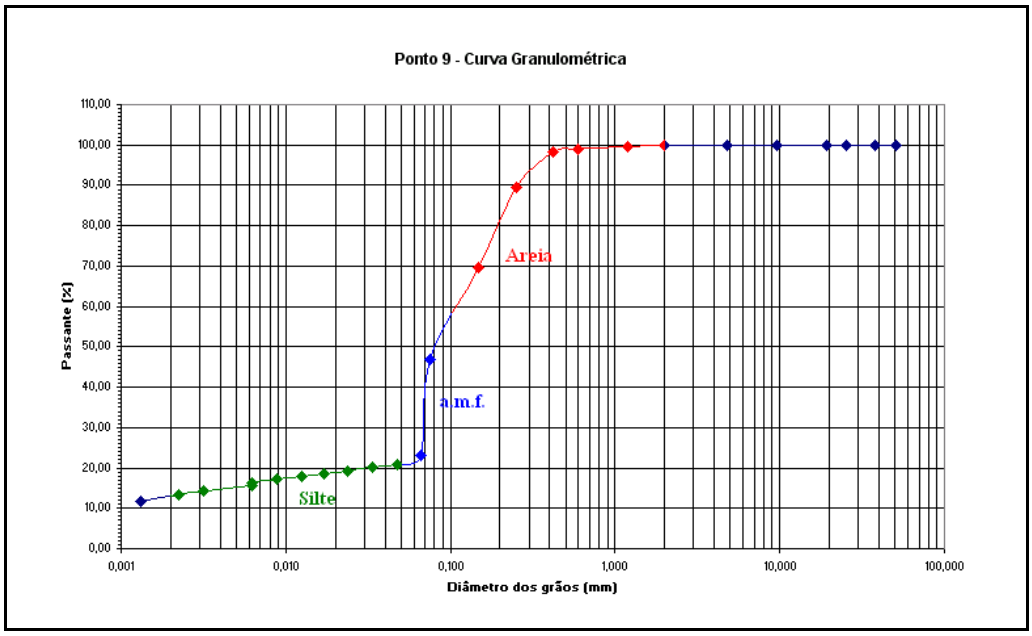

Figura 13 – Curva Granulométrica da amostra 9.

3.2 Matéria Orgânica

O teor de matéria orgânica em solos é um fator fundamental para a determinação de erodibilidade do solo, especialmente pelo fato de sua presença proporcionar a formação de agregados que auxiliam, consideravelmente, na proteção do solo e, dessa forma, com a diminuição da ocorrência de processos erosivos.

Considerando-se que o teor máximo de matéria orgânica constante do nomograma é de 4%, verificou-se que os pontos 1, 3, 4, 5 e 6 apresentaram concentrações acima do referido modelo, conforme apresentado no quadro abaixo. Nesse caso, tomou-se o valor máximo do nomograma para fazer-se a correlação com os outros dados (combinação dos valores de silte+areia muito fina, areia, estrutura e permeabilidade) e obter-se o valor de K. Ressalta-se para tanto, que o nomograma foi desenvolvido para a zona temperada, na qual os teores de matéria orgânica são mais baixos que nas regiões intertropicais.

A tabela abaixo demonstra a porcentagem de matéria orgânica encontrada nos pontos amostrados.

Tabela 1 – Porcentagem de matéria orgânica das amostras

Amostra	Matéria Orgânica (%)
Ponto 1	5,03
Ponto 2	3,87
Ponto 3	4,41
Ponto 4	5,68
Ponto 5	5,33
Ponto 6	4,75
Ponto 7	3,44
Ponto 8	0,53
Ponto 9	1,19

Pode-se entender que esses valores mais altos de matéria orgânica, encontrados nos pontos 1, 3, 4, 5 e 6, relacionam-se à presença de material alóctone de áreas adjacentes as de coleta das amostras, carreado principalmente durante o período chuvoso, posto que não se verificou a ocorrência de cobertura vegetal nos substratos analisados.

3.3 Estrutura e Permeabilidade

A estrutura do solo é definida pela forma como as partículas de areia, silte ou argila se organizam juntamente com a matéria orgânica. Ela é uma das mais importantes características físicas do solo, pois influencia de forma marcante no movimento da água. Fatores climáticos, ciclos de umedecimento e secagem, atividade biológica e atividade humana (práticas de manejo) podem modificá-la ao longo do tempo (DUARTE, 2006).

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais e conjuntamente com as observações *in situ* os pontos 1, 2, 3, 4, 6 e 9 caracterizaram-se por possuir predominância de estrutura muito pequena, enquanto que nos pontos 5, 7 e 8, prevaleceu a estrutura pequena.

Quanto à permeabilidade, outro atributo físico importante para indicar a qualidade de um solo, pode ser definido como a maior ou menor facilidade que os solos oferecem à passagem de água (ALONSO, 1999 *apud* SAMPAIO, 2004).

Enquadraram-se com permeabilidade muito lenta os pontos de 1 a 7 e 9 e com permeabilidade acentuada, o ponto 8.

Como o observado, o ponto 8 foi o único a apresentar permeabilidade acentuada, pois possuía características mais intensas do comportamento arenoso. Os solos arenosos caracterizam-se pela boa aeração o que ajuda na penetração da água. Em contrapartida os pontos 1 a 7 e 9 que apresentaram comportamento muito lento na percolação da água, caracterizaram-se por possuir predominância de material argiloso e siltoso, os quais não são tão arejados e a água passa mais lentamente entre os poros acarretando, com isso, o favorecimento ao escoamento superficial.

Na tabela 2 estão dispostos os códigos de estrutura e permeabilidade do nomograma relacionados aos resultados obtidos.

Tabela 2 – Estrutura e permeabilidade dos pontos amostrados

Pontos	Estrutura	Permeabilidade
1	pequena (2)	muito mal (6)
2	muito pequena (1)	muito mal (6)
3	muito pequena (1)	muito mal (6)
4	muito pequena (1)	muito mal (6)
5	muito pequena (1)	muito mal (6)
6	muito pequena (1)	muito mal (6)
7	muito pequena (1)	muito mal (6)
8	muito pequena (1)	acentuada (2)
9	muito pequena (1)	muito mal (6)

3.4 Erodibilidade (Fator K)

Segundo Baptista (2003), os valores de K para solos do Distrito Federal variaram de 0,013 a 0,042 t.h/(MJ.mm), para solos pouco a altamente erodíveis, respectivamente. Solos muito argilosos ou muito arenosos apresentam valores reduzidos de K, restando os maiores valores para materiais de textura média. A areia permite uma rápida e boa infiltração da água, que reduz o potencial erosivo (CORRÊA, 2006). De acordo com a afirmação acima apresentada, observou-se que os valores obtidos de K por meio do Nomograma Wischmeier *et al.* (1971) para cada ponto de amostragem (Tabela 3), apresentam coerência quando

comparados aos dos solos, os quais possuem os horizontes superficiais, ao contrário do que ocorre com os substratos expostos pela mineração.

Ainda atentou-se para o fato de que os valores obtidos no nomograma estão no sistema inglês, e para serem utilizados no sistema internacional, esses foram multiplicados pelo fator de conversão 0,1317.

Com a aplicação dos dados obtidos nos ensaios realizados e observações *in situ,* referentes aos cinco parâmetros, no Nomograma de Wischmeier *et al*. (1971), alcançaram-se os valores de K demonstrados na tabela 3.

Tabela 3 – Valores do K para os substratos minerados analisados

Pontos	K Nomograma	Kx0,1317 t.h/(MJ.mm)
1	0,14	0,018
2	0,16	0,021
3	0,17	0,022
4	0,16	0,021
5	0,14	0,018
6	0,16	0,021
7	0,20	0,026
8	0,04	0,005
9	0,35	0,046

Os valores de K oscilaram entre 0,005 t.h/MJ.mm, para substratos pouco erodíveis, a 0,046 t.h/(MJ.mm), para materiais mais erodíveis, estabelecendo uma relação diretamente proporcional à erodibilidade.

Os solos constituídos com porcentagens de silte e areia aproximadamente semelhantes e com alto teor de matéria orgânica, se mostraram com fator K medianos (0,016 t.h/MJ.mm a 0,021 t.h/MJ.mm), como representam os pontos de 1 a 7.

O ponto 8 obteve baixo valor de K (0,005 t.h/MJ.mm), pois possui características intensas do comportamento arenoso devido à alta porcentagem de areia (75%) e, conseqüentemente, permeabilidade acentuada que contribui para uma maior infiltração e menor escoamento superficial, evitando assim, um alto grau de carreamento das partículas superficiais.

No ponto 9 os percentuais de silte+areia muito fina e areia foram muito próximos, sendo de 44,61 e 42%, respectivamente. A ocorrência de material com estrutura muito pequena somada a uma permeabilidade muito lenta e baixa porcentagem de matéria orgânica, tornam esse substrato altamente susceptível à erosão, com um valor de fator K igual a 0,046 t.h/MJ.mm, o mais alto encontrado dentre todos os pontos amostrados.

Numa última análise, apesar de os substratos expostos apresentarem-se compactados, o que os torna mais coesos e resistentes ao impacto das gotas de chuva, a formação de placas ressecadas e fissuradas facilitam a remoção de blocos num processo inicialmente laminar, seguindo-se rapidamente à formação de sulcos e ravinas, culminando com o estabelecimento de voçorocas. Esse fato é agravado na região Centro-Oeste onde se tem duas estações do ano bem definidas, uma chuvosa (verão, de outubro a março) e outra seca.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Ao dar-se continuidade ao trabalho iniciado por Mafra (2007), verificou-se e confirmou-se a possibilidade da aplicação do Nomograma de Wischmeier *et al*. (1971), para a determinação dos valores do Fator K (erodibilidade) dos substratos expostos pela mineração no Distrito Federal, principalmente pela proximidade entre os valores encontrados para esses últimos, e os valores encontrados na literatura pesquisada para os solos do cerrado.

Ao determinar os valores de K para os solos do DF, Baptista (2003) verificou que esses apresentavam moderada susceptibilidade à erodibilidade para as classes de Latossolo, cujos valores de K variaram entre 0,013 e 0,020 t.h/MJ.mm e para Areia Quartzosa correspondendo a 0,027 t.h/MJ.mm.

Os valores encontrados no presente artigo correspondem a uma variação de 0,005 a 0,046 t.h/MJ.mm, para os substratos expostos, portanto, com uma diferença nos valores do Fator K pequena, quando comparados aos encontrados na referência supracitada. Porém ressalta-se que os valores de K para os substratos, quando comparados com os de solos, foram maiores, o que denota a necessidade de desenvolvimento de recuperação de áreas degradadas – PRAD.

Os pontos de 1 a 7 apresentaram erodibilidade oscilando de 0,018 a 0,026 t.h/MJ.mm, valores muito próximos, tendo em vista que esses pontos apresentam texturas, estruturas, teores de matéria orgânica e permeabilidade aproximados. O ponto 8 apresentou o menor valor, 0,005 t.h/MJ.mm, devido à sua permeabilidade acentuada característicos dos materiais com elevado percentual de areia. Já no ponto 9 observou-se comportamento diferente ao

apresentar um valor de fator K igual a 0,046 t.h/MJ.mm, quando comparado aos demais visto que possuía baixo teor de matéria orgânica e elevado percentual de materiais mais finos (% silte +areia muito fina), dificultando a formação de agregados.

Novos trabalhos devem ser incentivados visando aprimorar a compreensão da erodibilidade de substratos minerados para melhor direcionar as ações de recuperação de áreas degradadas. O conhecimento da erodibilidade potencial dos substratos pode também auxiliar os gestores públicos, à comunidade e os tomadores de decisão a planejar o desenvolvimento de maneira a evitar que áreas utilizadas pela mineração venham a fazer parte da paisagem, seja ela urbana ou rural e orientar na previsão e/ou prevenção da ocorrência de degradação ambiental.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**. Amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e caracterização. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6508**. Grãos de solo que passam na peneira 4,8mm: determinação da massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 8p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7118**. Solo: análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 1984. 13p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **13600**. Determinação do teor de matéria orgânica por queima a 440°C. Rio de Janeiro: ABNT, 1996. 2p.

BAPTISTA, G. M. M. **Diagnóstico ambiental de erosão laminar: modelo geotecnológico e aplicação.** Brasília: Universa, 2003. 140p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** Piracicaba, SP: Livroceres, 1985.

BRAGA NETTO, P. **Melhoria da qualidade ambiental.** In: FONSECA, F. O. (Org.) Olhares sobre o Lago Paranoá. Org. Fernando Oliveira Fonseca. Brasília: Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Governo do Distrito Federal, 2001. Disponível em: <http://www.semarh.df.gov.br/semarh/site/lagoparanoa/framesetsCaps/framesetCap11.htm>. Acessado em: 18 de maio de 2008.

CARVALHO, J. C.; SALES, M. M.; MORTARI, D.; FÁZIO, J. A.; MOTTA, N. O.; FRANSCISCO, R. A. **Processos Erosivos.** In: CARVALHO, J. C. SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Org.) Processos erosivos no centro-oeste brasileiro. Brasília: Universidade de Brasília: FINATEC, 2006. 464p.

CHAVES, H. M. L. **Estimativa da erosão atual e potencial no vale do São Francisco.** Relatório final de consultoria. Brasília: CODEVASF/FAO, 1994.

CODEPLAN. Atlas do Distrito Federal. Brasília: GDF, 1984.

CORRÊA, R. S. e BAPTISTA, G. M. M. **Mineração e áreas degradadas no cerrado.** Brasília: Universa, 2006. 174p.

CORRÊA, R. S. **Recuperação de áreas degradadas pela mineração no cerrado: manual para vegetação.** Brasília: Universa, 2005. 186p.

CORRÊA, R. S. e SILVA, L. C. R. **Benefícios da utilização de stylosanthes spp na revegetação de solos minerados.** Brasília: Universidade de Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.agrosof.org.br/pdf>. Acessado em: 17 de maio de 2008.

DENARDIN, J.E. **Solo: constituição e degradação.** In: MARCANTONIO, G. (Org.). Solos e irrigação. Porto Alegre: UFRGS, 1992. p.13-28.

DUARTE, C. B. **Características do solo.** REDIN: Recursos Digitais Integrados, 2006. Disponível em: <http://redin.lec.ufrgs.br/index.php/3.1._CARACTER%C3%8DSTICAS_DO_SOLO>. Acessado em: 29 de maio de 2008.

FRANÇOSO, R. D.; CORRÊA, R. S. Mensuração da cobertura vegetal de uma área minerada em recuperação no arboreto da Unb-DF utilizando fotografias aéreas e imagens IKONOS. In: **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis: abril 2007, INPE, p.3913-3919.

FREIRE, O. **O processo erosivo na bacia do rio Santo Anastácio.** In: 3° Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente, anais, vol 1, p. 13-18, Londrina, 1991.

FREIRE, O.; PESSOTI, J.E.S. **Erodibilidade dos solos de Piracicaba.** Revista da Agricultura, v.51, p.195-202, 1974.

MAFRA, B. F. **Determinação da erodibilidade de substrato minerado, por meio do Nomograma de Wischmeier et al., 1971**. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2007. 76p. Mimeo.

NASCIMENTO, R. O.; GUIMARÃES, J. E. C.; APARECIDA, C.; BACCARO, D. Estudo morfo-estrutural preliminar da borda oeste da Chapada da Contagem em Ceilândia, Distrito Federal. In: **Anais X Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**, 2003.

SÁ, M. A. C.; LIMA, J. M.; CURI, N.; MASSAROTO, J. A.; MARQUES,. J. J. C. S. M. **Estimativa da erodibilidade pela desagragação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, vol.39, n.7. Brasília, 2004. p.691-699. Disponível em:<http://www.scielo.br/pdf/pab/v39n7/21312.pdf>. Acessado em: 1 de maio de 2008.

SALOMÃO, F. X. T. **Controle e Prevenção dos Processos Erosivos**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. Erosão e conservação dos solos. Rio de Janeiro: Bertrande Brasil, 1999. 340p.

SAMPAIO, F. M. T.; MENEZES, S. M.; FURTINI, M. B.; RIBEIRO, K. D. **Correlações entre a permeabilidade e os atributos físicos do solo da sub-bacia do córrego centenário da cidade de Lavras – MG.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cagro/v30n4/v30n4a30.pdf>. Acessado em: 15 de maio de 2008.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V. **Influência de diferentes sistemas de uso e manejo na coesão, resistência ao cisalhamento e óxidos de Fe, Si E Al em solo de tabuleiro costeiro de Alagoas.** Revista Brasileira de Ciência do Solo vol.29 n°3. Viçosa, 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832005000300015&script=sci_arttext>. Acesso em 22 de maio de 2008.

SILVA, J. R. B. e RIBEIRO, S. L. **Estudo de boçorocas e método expeditos aplicados.** Rio Claro: Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2001. Disponível em: <http://sidklein.vilabol.uol.com.br/pos/metexp.htm>. Acessado em: 13 de maio de 2008.

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. **Relation of Soil Properties to its Erodibility**. Soil Science Society of America Proceedings, Madson, v. 23, n° 30, 1971.

WISCHMEIR, W. H., SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning.** U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook n° 537, 1978.

6. Agradecimentos

Agradecemos a Deus, a família, aos Mestres, aos técnicos dos laboratórios e aos amigos pela dedicação, incentivo e paciência nesta conquista.