ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Estimativa da erodibilidade do solo em áreas sob conversão de floresta em ambientes cultivados na região sul do Amazonas

Alan Ferreira Leite de Lima¹, Milton Cesar Costa Campos², Thalita Silva Martins¹, Wildson Benedito Mendes Brito¹, Fernando Gomes de Souza³, Jose Mauricio da Cunha¹, ¹Wener da Silva Simoes, ²Flavio Pereira de Oliveira

¹Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente. Universidade Federal do Amazonas; ²Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, ³Escola Agrotécnica Federal. Universidade Federal de Roraima.

Artigo recebido em 07/06/2020 e aceito em 12/08/2020

RESUMO

A região amazônica vem sofrendo altas taxas de desflorestamento, que tem acarretado o processo de erosão do solo. Nesse sentido é importante avaliar os fatores que estão ligados a esse fenômeno, como a erodibilidade do solo, que é um atributo complexo e intrínseco de cada solo. Diante disto, o objetivo do trabalho foi estimar a erodibilidade do solo em áreas sob conversão de floresta em ambientes cultivados na região sul do Amazonas. O estudo foi realizado em quatro áreas, sendo uma com floresta nativa, e três cultivadas com cupuaçu, guaraná e urucum em Canutama, região Sul do Amazonas. Torrões de solos e anéis volumétricos foram coletados nas profundidades: 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; e 0,40-0,50 m e, então, foram feitas análises de carbono orgânico, textura e de estimativa da erodibilidade do solo. Depois, os dados foram submetidos às análises de estatísticas univariada (com médias comparadas pelo teste de Tukey), de correlação de Pearson, e por último, uma análise fatorial dos componentes principais. Houve predominância da fração areia, sendo encontrado os maiores teores na área de floresta secundária. A argila, G_{DIS} , K_r e T_c apresentaram aumento no decorrer da profundidade, enquanto silte, G_{FLO} e K decresceram com o aumento da profundidade. A área de floresta secundária apresentou os maiores valores de K , K_i e K_r , e menores valores de T_c . A K apresentou correlação positiva com silte, G_{FLO} e correlação negativa com argila, G_{DIS} , K_r e T_c .

Palavras chave: Degradação do Solo, Erosão do Solo, Granulometria.

Estimative of soil erodibility in areas under forest conversion in cultured environments in the southern Amazon region

ABSTRACT

The Amazon region has been suffering high rates of deforestation, which has led to the process of soil erosion, so it is important to evaluate the factors that are linked to this phenomenon, such as soil erodibility, which is a complex and intrinsic attribute of each soil. Given this, the objective of this work was to estimate soil erodibility in areas under forest conversion in cultivated environments in southern Amazonas. The study was conducted in four areas, one with native forest, and three cultivated with cupuaçu, guarana and annatto in Canutama, southern Amazon region. Clods of soil and volumetric rings were collected at depths: 0.00-0.10; 0.10-0.20; 0.20-0.30; 0.30-0.40; and 0.40-0.50 m, and then organic carbon, texture and soil erodibility estimates were analyzed. Afterwards, the data were submitted to univariate statistical analysis (with means compared by Tukey test), Pearson correlation, and finally, a factor analysis of the main components. There was a predominance of sand fraction, being found the highest contents in the secondary forest area. Clay, G_{DIS} , K_r and T_c increased during depth, while silt, G_{FLO} and K decreased with increasing depth. The secondary forest area presented the highest values of K , K_i and K_r , and lowest values of T_c . K showed positive correlation with silt, G_{FLO} and negative correlation with clay, G_{DIS} , K_r and T_c .

Key words: Soil Degradation, Soil Erosion, Granulometry

Introdução

A região amazônica é caracterizada por uma extensa área, que apresenta elevada diversidade geológica, geomorfológica, edáfica, climática e vegetacional (Vale Júnior et al., 2011), que fornece serviços ambientais locais importantes, como a manutenção da biodiversidade e a ciclagem de nutrientes e água. No entanto, essa floresta vem sofrendo altas taxas de desmatamento anuais, que estão associadas principalmente, na implantação de novas áreas para o desenvolvimento agrícola e pecuário que podem promover grandes perdas para o ecossistema regional, tais como diminuição do volume de água, assoreamento de canais fluviais, perda da qualidade da água, (Watanabe et al 2018) alterações nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, acarretando efeitos sobre a qualidade ambiental da área (Wang et al., 2013).

Visto que, o desmatamento causa alterações nos atributos do solo e muitas vezes de formas negativas (Freitas, et al., 2015) podendo até limitar ou inibir sua funcionalidade (Salvati et al., 2013). Além disso que, o solo é um recurso natural não renovável, que desempenha um papel essencial na produção agrícola e na preservação da biodiversidade (Bellezoni et al., 2014). Sendo a erosão do solo a forma mais prejudicial de degradação e o principal causador de insustentabilidade nos sistemas de produção agrícola (Wang et al., 2016) é importante estudos que visem estimar e avaliar os impactos causados na erodibilidade do solo em áreas sobre conversão de floresta em ambientes agrícolas. Pois o diagnóstico do potencial natural de erosão e os riscos de degradação em diferentes ambientes contribui com informações importantes para o planejamento agrícola e ambiental de uma região (Silva et al., 2016).

Em campo, os fatores K, Ki e Kr de erodibilidade são determinados utilizando precipitação (natural ou simuladas), entretanto esses

fatores podem ser estimados, usando atributos relacionados com a erosão do solo, por modelos matemáticos tais como aqueles utilizados por Denardin (1990) e Flanagan e Livingston (1995). A estimativa desses fatores pelos modelos requer atributos do solo que são quantificados em laboratório, tornando o método mais rápido e menos oneroso, em comparação aos métodos de campo.

Esses fatores podem ser influenciados pelo manejo e pelos atributos do solo, incluindo atributos mineralógicos. Barbosa et al. (2019), relatam que, um maior conteúdo de hematita pode melhorar a resistência do solo à erosão, devido aos óxidos de ferro que facilitam a estruturação e a agregação do solo. Klein e Klein (2014) e Oliveira et al. (2014) relatam que diferentes práticas de manejo podem resultar na compactação de camadas profundas do solo, alterando o comportamento da infiltração e escoamento das águas, podendo ocasionar erosão do solo.

Considerando que, a conversão de florestas em ambientes agrícolas vem causando alterações nos atributos do solo, implicando muitas vezes na perda de produção agrícola, devido a degradação do solo causada pela erosão hídrica. Diante disto, o objetivo do trabalho foi investigar a hipótese de que a conversão de floresta em ambientes agrícolas causa, alterações nos parâmetros de erodibilidade do solo no Assentamento São Francisco, município de Canutama, Amazonas.

Material e métodos

O estudo foi desenvolvido no Assentamento São Francisco, localizado no município de Canutama, Amazonas, Brasil, (Figura 1), no ano de 2017, em quatro áreas, uma de Floresta, e as outras sob cultivo de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng) Schum), guaranazeiro (*Paullinia cupana* (Mart.) Ducke) e urucuzeiro (*Bixa orellana* L.).

Figura 1. Mapa de localização das áreas estudadas no município de Canutama, Amazonas.

A área de floresta caracteriza-se como floresta secundária, devido ter sido derrubada no ano de 1994. Após esse período foi deixada em pousio, sem nenhum cultivo na respectiva área. Para a limpeza das áreas de cultivo foram utilizados o fogo, seguido de implantação das culturas. Não foram utilizados adubação e calagem nas áreas em todo o período de cultivo.

A área com cultivo de cupuaçu possui 7 anos, com espaçamento de 5 x 4 m, apresentando uma produtividade de 500 Kg ha⁻¹ de polpa. A área com cultivo de guaraná possui 7 anos, com espaçamento de 5 x 5 m, apresentando uma produtividade de 420 Kg ha⁻¹ de semente seca. A área com cultivo de urucum possui 3 anos, com espaçamento de 5 x 4 m, apresentando uma produtividade de 642 Kg ha⁻¹ de sementes. O controle das plantas daninhas nas áreas de guaraná, cupuaçu e urucum são realizadas com uso de roçadeira motorizada e, para o sapé (*Imperata brasiliensis*) é utilizado o herbicida glifosato.

O solo da área de estudo é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico de acordo com SiBCS (Embrapa, 2018), localizados sobre a Planície Amazônica entre os rios Purus e Madeira, a mesma está associada a sedimentos aluviais recentes, do período Quaternário, caracterizadas pela presença de relevos tabulares de grandes dimensões, definidos por talwegues de aprofundamento muito fraco

(Embrapa, 1997). O clima da região é Tropical Chuvoso, apresentando um período seco de pequena duração, a pluviosidade média parcial varia entre 2.250 e 2.750 mm ao ano, com período chuvoso entre outubro e junho. As temperaturas médias anuais variam entre 25 a 27 °C e a umidade relativa do ar entre 85 a 90% (Brasil, 1978).

Em cada área estudada (floresta secundária, área com cupuaçu, área com urucum e área com guaraná), foram coletadas amostras de solo de quatro trincheiras, distantes 0,5 m do caule das plantas, nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; 0,20-0,30; 0,30-0,40; e 0,40-0,50 m, totalizando 20 amostras por área e ao todo 80 amostras.

As amostras de solo coletadas foram secas à sombra e destorroadas, de forma manual, passando-as em peneira de diâmetro de 2,00 mm. Em seguida, foi determinado o teor do carbono orgânico total (COT) pelo método de Walkley-Black, modificado por Yeomans & Bremner (1988), e estimado a matéria orgânica do solo.

Realizou-se a análise textural utilizando-se o método da pipeta, com solução de NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico e agitação mecânica em aparato de alta rotação por 15 minutos. A areia foi separada por tamisação, a argila e o silte foram separados por sedimentação, e posteriormente foram calculados o grau de floculação (G_{FLO}) e grau de dispersão (G_{DIS}) utilizando a diferença entre a

argila total e a argila dispersa em água, segundo a metodologia proposta pela Embrapa (2017).

Adiante, realizou-se o peneiramento das frações areia para determinação das dimensões das partículas sólidas analisadas, com intuito de estimar os fatores da erodibilidade. Para análise, utilizou-se um agitador de peneiras, modelo SOLOTEST com reostato digital marcador de tempo e frequência, para o fracionamento das partículas através das vibrações que aceleram o peneiramento. Cada amostra foi agitada durante 3 minutos utilizando-se as peneiras comuns com malhas de 2mm; 1mm; 0,5mm; 0,250mm; 0,125mm e 0,053mm. As peneiras foram arranjadas de modo a poderem ser encaixadas umas nas outras formando uma coluna de peneiração. Na parte superior desta coluna há uma tampa para evitar perdas de material durante a peneiração, e na base encaixa-se uma peneira

"cega", denominada "pan", destinada a receber as partículas menores que atravessarem toda a coluna sem serem retidas em nenhuma das peneiras.

Para determinação da estimativa da erodibilidade, foram utilizados modelos indiretos de predição, no qual estimam os valores dos fatores erodibilidade através de equações que envolvem os valores dos atributos do solo analisados em laboratório. Assim, no presente trabalho foram utilizados os modelos USLE (Universal Soil Loss Equation) e WEPP (Water Erosion Prediction Project) para determinação dos fatores condicionantes da erosão nas áreas em estudo.

Para o cálculo da erodibilidade global do solo da USLE (fator K , $t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha\ h$) foi utilizada a equação proposta por Denardin (1990) (Eq. 1):

$$K = 7,48 \times 10^{-6} M + 4,48059 \times 10^{-3} p - 6,31175 \times 10^{-2} X_{27} + 1,039567 \times 10^{-2} X_{32} \quad (1)$$

em que: Novo silte = silte + areia muito fina, %; Nova areia = areia muito grossa + areia grossa + areia média + areia fina, %; M = novo silte x (novo silte + nova areia); p = permeabilidade, segundo Wischmeier et al. (1971) (Tabela 1); X_{27} = [(0,002

x argila, %) + (0,026 x silte, %) + (0,075 x areia muito fina, %) + (0,175 areia fina, %) + (0,375 areia média, %) + (0,75 areia grossa, %) + (1,5 areia muito grossa, %)] / (argila, % + silte, % + areia, %); X_{32} = nova areia x (Matéria Orgânica, %/100).

Tabela 1. Classe textural e classe de permeabilidade do solo.

Classe textural ¹	Classe de Permeabilidade ²	Permeabilidade
Muito argilosa, Argilosa e Argilo-siltosa	6	Muito lenta
Franco-argilo-siltosa e Argilo-arenosa	5	Lenta
Franco-argilo-arenosa e Franco-argilosa	4	Lenta e moderada
Franca, Franco-siltosa e Siltosa	3	Moderada
Areia-franca e Franco-arenosa	2	Moderada e rápida
Arenosa	1	Rápida

Fonte: ¹United States Department of Agriculture (1983); ²Wischmeier et al. (1971).

Para o cálculo da erodibilidade em entressulcos do modelo Wepp (K_i , $kg\ s\ m^{-4}$) foram utilizadas as equações propostas por Flanagan e Livingston (1995) (Tabela 2) (Eq. 2 e 3):

Para calcular a erodibilidade em sulcos (K_r , $s\ m^{-1}$) e a tensão cisalhante (T_c , $N\ m^{-2}$) do modelo Wepp foram utilizadas as equações propostas por Flanagan & Livingston (1995) (Tabela 2) (Eq. 4, 5, 6 e 7):

Tabela 2. Equações do modelo WEPP propostas por Flanagan e Livingston (1995).

Condições	Equações
areia $\geq 30\%$	2 $K_i\ Wepp = 2728000 + 192100\ AMF$
areia $< 30\%$	3 $K_i\ Wepp = 6054000 - 55130\ ARG$
areia $\geq 30\%$	4 $K_r\ Wepp = 0,00197 + 0,00030\ AMF + 0,03863\ e^{(-1,84\ MO)}$
areia $< 30\%$	5 $K_r\ Wepp = 0,0069 + 0,134\ e^{(-0,20*ARG)}$
areia $\geq 30\%$	6 $T_c\ Wepp = 2,67 + 0,065\ ARG - 0,058\ AMF$
areia $< 30\%$	7 $T_c\ Wepp = 3,5$

onde: AMF = percentual de areia muito fina, %; ARG = percentual de argila, %; e = base dos logaritmos neperianos; MO = percentual de matéria orgânica do solo, %;

Após a obtenção dos dados da erodibilidade foram realizadas análises de estatística descritiva, em que foram calculados a média e o coeficiente de variação. E em seguida, foi realizada análise de variância comparando as áreas estudadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Posteriormente, foram realizadas as análises de correlação de Pearson a 5% de probabilidade e montada a matriz de correlação para as combinações, duas a duas, entre os atributos utilizando o software SPSS 21 (IBM Corp., 2012). Além disso, foi realizada análise de regressão, entre a erodibilidade global com variáveis que tiverem correlação.

Para as análises multivariadas, foi realizada análise fatorial dos componentes principais (ACP), as quais foram realizadas a fim de encontrar significância estatística dos conjuntos dos atributos do solo que mais discriminam os ambientes, com relação as diferentes áreas em estudo, obtendo como resposta quais são os ambientes cujos atributos sofrem maior influência pela ação antrópica.

A adequabilidade da análise fatorial foi feita pela medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), que avalia as correlações simples e parciais das variáveis, e pelo teste de esfericidade de Bartlett, ao qual se pretende rejeitar a igualdade entre a matriz correlação com a identidade. A extração dos fatores será realizada pela análise de componente principal, incorporando as variáveis que apresentam comunalidades igual ou superior a cinco (5,0). A escolha do número de fatores a ser utilizado foi feita pelo critério de Kaiser (fatores que apresentam autovalores superiores a 1,0). A fim de simplificar a análise fatorial, foi realizada a rotação ortogonal (varimax) e representada em um plano fatorial das variáveis e dos escores para os componentes principais.

Nos gráficos de dispersão da ACP após rotação varimax, os escores serão construídos com valores padronizados, de tal forma que a média é zero e a distância entre os escores é medida em termos do desvio padrão. Dessa forma, as variáveis em um mesmo quadrante (1°, 2°, 3° e 4°) e mais próximas no gráfico de dispersão das ACP são mais bem correlacionadas. Da mesma forma, escores

atribuídos às amostras que se encontram próximos e em um mesmo quadrante, estão relacionadas com as variáveis daquele quadrante (Burak et al., 2010).

Resultados e discussão

Na Tabela 3 são apresentados o teste de média e o coeficiente de variação dos parâmetros texturais do solo, em todas as áreas e profundidades estudadas. Observou-se predominância da fração areia em todas as áreas estudadas. Os solos apresentaram o mesmo grupamento textural, textura média, para todas as áreas nas camadas 0,00-0,10 e 0,10-0,20 m, para as áreas de floresta, cupuaçu e guaraná, na camada de 0,20-0,30 m e para floresta na camada de 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m. Foi observado textura argilosa para a área de urucum, na camada de 0,20-0,30 m e para as áreas de cupuaçu, guaraná e floresta, nas camadas de 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m. De acordo com Corrêa et al. (2016), solos com textura arenosa apresentaram perdas elevadas de partículas, quando manejados de forma inadequada, sendo necessário o aperfeiçoamento do manejo da cultura ou a mudança no uso da terra.

Verificou-se diferença significativa para areia (Tabela 3), entre as áreas estudadas apenas para camada de 0,40-0,50 m, evidenciando maiores valores para área de floresta (489,61 g kg⁻¹) e os menores valores para área de cupuaçu (349,37 g kg⁻¹). Para o silte houve diferença significativa entre as áreas, em todas as camadas estudadas, exceto na camada de 0,10-0,20 m, sendo observado maiores teores de silte, para floresta nas camadas de 0,20-0,30 e 0,30-0,40 m. Para argila houve diferença significativa entre as áreas nas camadas de 0,00-0,10 e 0,30-0,40 m, sendo evidenciado menores valores, para a área de floresta, em relação aos ambientes estudados. Estes valores foram superiores para a areia e inferior para o silte e argila, quando comparados aos resultados encontrados por Soares et al. (2015), ao estudarem os atributos físicos do solo, em áreas sob diferentes usos, no sul do Amazonas.

Tabela 3. Valores médios das variáveis da textura e matéria orgânica do solo, para os ambientes estudados em Canutama, Amazonas.

ÁREAS	Areia	Silte	Argila	G _{FLO}	G _{DIS}	MOS
	----- g Kg ⁻¹ -----			----- % -----		g Kg ⁻¹
camada (0,00 - 0,10 m)						
Floresta	491,92 a	265,29 ab	242,79 b	93,73 a	6,27 b	41,22 a
Cupuaçu	432,94 a	286,77 a	280,29 ab	83,32 b	16,68 a	32,95 ab
Guaraná	468,17 a	276,39 ab	255,44 ab	82,88 b	17,12 a	30,19 ab
Urucum	493,09 a	185,98 b	320,93 a	83,38 b	16,62 a	26,31 b
CV (%)	10,31	22,83	16,24	5,87	35,53	22,01
camada (0,10 - 0,20 m)						
Floresta	517,04 a	252,85 a	230,12 a	74,05 a	25,95 a	22,73 ab
Cupuaçu	440,10 a	267,56 a	292,34 a	80,31 a	19,69 a	26,12 a
Guaraná	464,24 a	227,54 a	308,22 a	80,20 a	19,80 a	20,23 ab
Urucum	419,89 a	263,22 a	316,90 a	79,69 a	20,31 a	16,86 b
CV (%)	11,66	21,7	18,25	7,47	34,49	30,96
camada (0,20 - 0,30 m)						
Floresta	411,79 a	348,14 a	240,07 a	79,04 a	20,96 b	17,16 a
Cupuaçu	467,79 a	210,16 b	322,04 a	67,76 b	32,24 a	15,47 a
Guaraná	492,14 a	192,62 b	315,25 a	70,10 ab	29,90 ab	17,37 a
Urucum	461,20 a	188,19 b	350,61 a	67,51 b	32,49 a	13,13 a
CV (%)	11,46	26,29	19,56	10,37	37,87	37,98
camada (0,30 - 0,40 m)						
Floresta	479,03 a	302,45 a	218,52 b	75,97 a	24,03 a	15,68 a
Cupuaçu	425,72 a	182,38 b	391,89 a	67,48 a	32,52 a	12,77 ab
Guaraná	459,63 a	182,75 b	357,62 a	72,48 a	27,52 a	16,39 a
Urucum	439,00 a	179,79 b	381,21 a	70,78 a	29,22 a	10,47 b
CV (%)	11,79	28,75	22,26	10,59	35,05	42,1
camada (0,40 - 0,50 m)						
Floresta	489,61 a	183,57 ab	326,82 a	76,00 ab	24,00 ab	12,24 a
Cupuaçu	349,37 b	266,84 a	383,79 a	67,65 b	32,35 a	13,08 a
Guaraná	451,38 a	138,29 b	410,33 a	69,49 b	30,51 a	9,96 a
Urucum	459,80 a	116,12 b	424,08 a	83,45 a	16,55 b	11,42 a
CV (%)	12,38	32,24	23,36	10,60	34,07	46,16

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey $p < 0,05$).

Em relação ao G_{FLO} e G_{DIS} houve diferença significativa entre as áreas nas camadas de 0,00-0,10; 0,10-0,20; e 0,40-0,50 m, sendo encontrado os maiores valores de G_{FLO} para área de floresta, em relação as áreas cultivadas. Entretanto, na camada de 0,40-0,50 m, o cultivo de urucum apresentou o maior valor, devido aos menores valores de G_{DIS} encontrados nestas mesmas camadas. Devido ter efeito antagônico sobre o outro, em que o G_{FLO} indica, que a percentagem de argila, fica presa nas partículas do solo, enquanto G_{DIS} indica a percentagem de argila que fica dispersa na água. Esses dados corroboram com Lima et al. (2013), que observaram maiores valores de G_{FLO} em área de vegetação natural, contribuindo para uma maior agregação do solo.

Observou-se que areia está constante, em todas as camadas para todas as áreas estudadas, apresentando valores elevados em relação ao silte e argila (Figura 2). A argila e o G_{DIS} aumentaram em profundidade, enquanto o silte e o G_{FLO} estão decrescendo. Este fato pode estar relacionado com decréscimo da matéria orgânica em profundidade, que proporciona diminuição da atividade microbiana. Segundo Prado e Natale, (2003), a atividade microbiana é um dos fatores que influenciam num maior G_{FLO} da argila do solo. Entretanto esse resultado não corrobora com o encontrado por Santos et al., (2013), que caracterizou terras pretas de índio e observou que o grau de dispersão diminui com o aumento da profundidade.

Figura 2. Comportamento dos componentes da textura e matéria orgânica do solo em profundidades, para os ambientes estudados em Canutama, Amazonas.

Na Tabela 4, apresenta-se o teste de média e o coeficiente de variação dos parâmetros erodibilidade, em todas as áreas e profundidades estudadas. Verificou-se que K apresentou diferença significativa apenas na camada de 0,30-0,40 e 0,40-0,50 m entre as áreas estudadas, mostrando maiores valores de erodibilidade global para área de floresta secundária ($4,79 \times 10^{-2} \text{ t ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha h}$) e para

os ambientes cultivados com valores abaixo de $4,04 \times 10^{-2} \text{ t ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha h}$, indicando que o ambiente de floresta está mais suscetível a erosão do que os ambientes cultivados. Desta forma, resultados observados podem ser considerados, uma vez que o fator K demonstra a predisposição das áreas a sofrerem erosão. Os resultados corroboram com Taleshian Jeloudar et al. (2018), que também

observaram maiores índices de erodibilidade em solos com altos teores de areia e silte. De acordo com Huang e Lo, (2015), a área e o silte carecem de

propriedades de adesão e, se hidratado, torna-se facilmente quebrado e transportado, tendo um impacto maior na erodibilidade do solo.

Tabela 4. Valores médios das variáveis da erodibilidade do solo para os ambientes estudados em Canutama, Amazonas.

ÁREAS	K	Ki	Kr	Tc
	$t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha\ h$	$Kg\ s\ m^{-4}$	$s\ m^{-1}$	$N\ m^{-2}$
camada (0,00 - 0,10 m)				
Floresta	$4,99 \times 10^{-2}\ a$	$8,91 \times 10^6\ a$	$1,17 \times 10^{-2}\ a$	2,55 a
Cupuaçu	$4,87 \times 10^{-2}\ a$	$8,36 \times 10^6\ a$	$1,09 \times 10^{-2}\ a$	2,79 a
Guaraná	$4,66 \times 10^{-2}\ a$	$7,45 \times 10^6\ a$	$0,95 \times 10^{-2}\ a$	2,91 a
Urucum	$4,44 \times 10^{-2}\ a$	$8,28 \times 10^6\ a$	$1,11 \times 10^{-2}\ a$	2,84 a
CV	7,93	11,02	13,77	11,77
camada (0,10 - 0,20 m)				
Floresta	$4,79 \times 10^{-2}\ a$	$9,10 \times 10^6\ a$	$1,25 \times 10^{-2}\ a$	2,08 a
Cupuaçu	$4,66 \times 10^{-2}\ a$	$8,59 \times 10^6\ a$	$1,23 \times 10^{-2}\ a$	2,80 a
Guaraná	$4,01 \times 10^{-2}\ a$	$7,73 \times 10^6\ a$	$1,08 \times 10^{-2}\ a$	3,00 a
Urucum	$4,14 \times 10^{-2}\ a$	$7,74 \times 10^6\ a$	$1,18 \times 10^{-2}\ a$	3,05 a
CV	11,51	11,60	13,57	27,80
camada (0,20 - 0,30 m)				
Floresta	$4,72 \times 10^{-2}\ a$	$8,20 \times 10^6\ a$	$1,23 \times 10^{-2}\ a$	2,58 a
Cupuaçu	$4,04 \times 10^{-2}\ b$	$9,25 \times 10^6\ a$	$1,54 \times 10^{-2}\ a$	2,79 a
Guaraná	$3,89 \times 10^{-2}\ b$	$8,06 \times 10^6\ a$	$1,21 \times 10^{-2}\ a$	3,11 a
Urucum	$3,92 \times 10^{-2}\ b$	$8,28 \times 10^6\ a$	$1,45 \times 10^{-2}\ a$	3,27 a
CV	10,04	11,06	20,93	16,38
camada (0,30 - 0,40 m)				
Floresta	$4,56 \times 10^{-2}\ a$	$8,85 \times 10^6\ a$	$1,39 \times 10^{-2}\ a$	2,24 a
Cupuaçu	$3,59 \times 10^{-2}\ b$	$9,12 \times 10^6\ a$	$1,53 \times 10^{-2}\ a$	3,29 a
Guaraná	$3,80 \times 10^{-2}\ ab$	$8,93 \times 10^6\ a$	$1,32 \times 10^{-2}\ a$	3,33 a
Urucum	$4,01 \times 10^{-2}\ ab$	$8,11 \times 10^6\ a$	$1,62 \times 10^{-2}\ a$	3,55 a
CV	12,90	12,00	16,48	24,97
camada (0,40 - 0,50 m)				
Floresta	$3,79 \times 10^{-2}\ a$	$8,41 \times 10^6\ a$	$1,55 \times 10^{-2}\ a$	3,08 a
Cupuaçu	$4,27 \times 10^{-2}\ a$	$8,19 \times 10^6\ a$	$1,47 \times 10^{-2}\ a$	3,35 a
Guaraná	$3,71 \times 10^{-2}\ a$	$8,16 \times 10^6\ a$	$1,68 \times 10^{-2}\ a$	3,62 a
Urucum	$3,52 \times 10^{-2}\ a$	$8,30 \times 10^6\ a$	$1,58 \times 10^{-2}\ a$	3,75 a
CV	12,41	8,60	14,44	14,65

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente (Tukey $p < 0,05$).

As áreas de estudo encontram-se em Argissolos, um dos solos mais expressivos na região, onde foram observados valores abaixo da média para os solos de floresta e ambientes cultivados quando comparados aos encontrados por Lourenço et al. (2020), que estudaram erodibilidade do solo em áreas de terra preta arqueológica com pastagem e floresta nativa no sul do Amazonas. Por outro lado, esses valores foram inferiores a $5,21 \times 10^{-2}\ t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha\ h$, encontrado por Nunes et al. (2017) para Argissolos, que estudaram a aplicação da equação universal de perdas de solo na região sul do Amazonas.

De acordo com Castro et al. (2011), a erodibilidade do solo pode ser definida em classes

segundo seu potencial. Portanto, podem ser verificadas as seguintes classificações: $K < 9,00 \times 10^{-3}$ (muito baixa); $9,00 \times 10^{-3} < K \leq 1,50 \times 10^{-2}$ (baixa); $1,50 \times 10^{-2} < K \leq 3,00 \times 10^{-2}$ (média); $3,00 \times 10^{-2} < K \leq 4,50 \times 10^{-2}$ (alta); $4,50 \times 10^{-2} < K \leq 6,00 \times 10^{-2}$ (muito alta), e $K > 6,00 \times 10^{-2}$ (extremamente alta). Nesse sentido, nota-se que a Tabela 4 apresenta valores variando de $3,52 \times 10^{-2}$ a $4,99 \times 10^{-2}\ t\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}\ ha\ h$ entre as áreas em todas as camadas estudadas, apresentando classe entre alta e muito alta erodibilidade.

Os fatores Ki, Kr e Tc não apresentaram diferença significativa entre as áreas para todas as camadas estudadas. O Ki variou de $7,45 \times 10^6$ a $9,25\ Kg\ s\ m^{-4}$, e o Kr variou de $0,95 \times 10^{-2}$ a $1,68 \times 10^{-2}$

Kg s m^{-4} , já T_c variou de 2,08 a $3,55 \text{ N m}^{-2}$ entre as áreas e camadas estudadas (Tabela 4).

A área de floresta apresentou os maiores valores de K , K_i e K_r , e os menores valores de T_c em relação aos ambientes cultivados (Tabela 4). Esses resultados podem ser atribuídos aos elevados teores de areia encontrados na área de floresta (Tabela 3), corroborando com Nunes e Cassol (2008), que relacionaram os maiores valores de K_i à presença de maior teor de areia. Por outro lado, os valores médios dos fatores de erodibilidade do solo entressulcos (K_i) foram maiores do que obtidos por Franco et al. (2012), que estudaram a erodibilidade

do solo em entressulcos em um Argissolo Vermelho obtendo um valor médio de $1,82 \times 10^6 \text{ kg s m}^{-4}$.

Na Figura 3, são apresentados os parâmetros de erodibilidade do solo para as diferentes áreas nas profundidades estudadas. Observa-se que a K está diminuindo, de acordo com a profundidade, enquanto a K_r e T_c então aumentando de acordo com a profundidade, havendo pouca variação do K_i com o decorrer da profundidade. O decréscimo da erodibilidade global pode estar relacionado ao aumento da T_c , que proporciona uma maior resistência do solo a ruptura das partículas.

Figura 3. Comportamento das variáveis da erodibilidade do solo em profundidades, para os ambientes estudados em Canutama, Amazonas.

Na Tabela 5, estão apresentados os valores da correlação de Pearson ao nível de 5% e 1% de probabilidade para textura, matéria orgânica e erodibilidade de todas as áreas estudadas. O fator K apresentou correlação positiva com os atributos silte e G_{FLO} , indicando que esses atributos corroboram

para o aumento da K , tendo efeito direto. Em contrapartida, K apresentou correlação negativa com argila, G_{DIS} , K_r e T_c , indicando um efeito antagônico do K nesses atributos, onde o aumento desses atributos proporcionaram decréscimo no K .

Tabela 5. Correlação de Pearson dos atributos dos solos nos diferentes ambientes estudados em Canutama, Amazonas.

Atributos	Areia	Silte	Argila	G _{FLO}	G _{DIS}	K	Ki	Kr	Tc	MOS
Areia	1,00	-0,36**	-0,41**	0,20 ^{ns}	-0,20 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,39**	0,16 ^{ns}	-0,49**	0,11 ^{ns}
Silte	-	1,00	-0,71**	0,18 ^{ns}	-0,18 ^{ns}	0,72**	-0,23*	-0,53**	-0,47**	0,42**
Argila	-	-	1,00	-0,32**	0,32**	-0,71**	-0,07 ^{ns}	0,39**	0,82**	-0,49**
G _{FLO}	-	-	-	1,00	-1,00**	0,38**	-0,02 ^{ns}	-0,36**	-0,20 ^{ns}	0,65**
G _{DIS}	-	-	-	-	1,00	-0,38**	0,02 ^{ns}	0,36**	0,20 ^{ns}	-0,65**
K	-	-	-	-	-	1,00	0,07 ^{ns}	-0,48**	-0,66**	0,67**
Ki	-	-	-	-	-	-	1,00	0,53**	-0,49**	-0,01 ^{ns}
Kr	-	-	-	-	-	-	-	1,00	0,08 ^{ns}	-0,66**
Tc	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-0,34**
MOS	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** = significativo ao nível de 1% de probabilidade; ^{ns} = não significativo.

Foram observadas correlações positivas entre Kr e argila, G_{DIS} e Ki, e também correlações negativas entre Kr com silte, G_{FLO} e Tc. O fator Tc apresentou correlação negativa com os parâmetros de erodibilidade K e Ki, evidenciando o efeito antagônico dele nestes parâmetros, evidências essas apresentadas na Figura 4.

Estudo realizado por Lima et al. (2019), avaliando a relação entre a erodibilidade e os atributos químicos e físicos do solo, encontraram correlação negativa entre K e MOS, não corroborando com os resultados encontrados nesse estudo. Além disso, observaram que a erodibilidade do solo tem forte correlação com os atributos físicos do solo.

Figura 4. Regressão linear dos atributos que apresentaram maior correlação com a erodibilidade global para os ambientes estudados em Canutama, Amazonas.

A adequação da análise fatorial mostrou-se significativa ($KMO = 0,57$ e $p < 0,05$ para o teste de esfericidade de Bartlett) para os atributos avaliados. Na análise de componentes principais (ACP), o número de fatores a serem extraídos foi estabelecido de forma a explicar acima de 80% da variância total dos dados (Tabela 5 e Figura 5), que apresentaram

autovalores da matriz de covariância superior a um (1) (Manly, 2008), com 4,71 na CP1 e 3,80 na CP2. Do percentual da variância explicada, observou-se que a CP1 é responsável por 55,21% da variância total, enquanto que a CP2 é responsável por 30,48%.

Tabela 6. Componentes principais dos atributos do solo, correspondentes aos ambientes estudados em Canutama, Amazonas.

Atributos	Variância Comum	Fatores	
		CP1	CP2
Silte	0,91	0,97*	-0,01
Argila	0,62	-0,79*	-0,23
K	0,84	0,93*	0,14
Ki	0,85	0,33	0,87*
Kr	0,88	-0,22	0,96*
MO	0,81	0,85*	-0,31
Variância explicada (%)		55,21	30,48

Tanto a primeiro, quanto o segundo CP (Tabela 6), tem percentual de explicação para as características texturais, matéria orgânica e erodibilidade do solo. Assim, a discriminação entre os ambientes diz respeito a essas características, com CP1 representando os atributos silte, K, MO e argila, enquanto a CP2 os atributos Ki e Kr.

Observou-se que no CP1 o Silte, K, Ki e MO apresentaram valores positivos, enquanto a argila apresentou valores negativos. No CP2 foram observados valores positivos para Ki e Kr (Tabela 6 e Figura 5). Os valores positivos e negativos observados em cada CP, indica que, as variáveis que possuem os mesmos sinais estão relacionadas

diretamente enquanto as que possuem sinais contrários estão relacionadas inversamente.

Na Figura 5, está representado o plano fatorial da distribuição dos escores das diferentes áreas estudadas e da disposição das cargas fatoriais dos atributos e erodibilidade do solo formado pelos CP1 e CP2. Nota-se que a área de urucum está altamente relacionada com o teor de argila, explicando o porquê houve a maior força de cisalhamento desta área em relação às demais, haja vista que os minerais de argila são fundamentais para uma melhor agregação e estabilização dos agregados do solo.

Figura 5. Plano fatorial dos atributos do solo para os diferentes ambientes estudados em Canutama, Amazonas.

A área de cupuaçu, apresentou um comportamento intermediário, abrangendo todos os quadrantes do plano fatorial (Figura 5), evidenciando principalmente a ocorrência de perdas por Kr e Ki, devido sua forte correlação negativa com silte e MOS, e positiva com argila. Já a área de floresta, apresentou as maiores perdas por K, devido sua forte correlação negativa com argila e positiva com os teores de silte e MOS, o que facilita o desprendimento e arraste das partículas, corroborando o fato da área estar situada em quadrante oposto da maior concentração de argila (Figura 5), além do fato de ter apresentado correlação negativa com Tc e Kr.

De forma geral, pôde-se confirmar que a

textura mais grosseira aliado ao maior teor de MOS ocasionou à área de floresta uma maior suscetibilidade a perdas por erodibilidade global, em sulcos e entressulcos; enquanto a fração mais argilosa em área de urucum a deixou mais resistente a forças de cisalhamento.

Contudo, as características heterogêneas das áreas às permitiram agrupá-las em dois grupos de acordo com suas semelhanças (Figura 6). Apesar de ser um ambiente cultivado, a área de cupuaçu foi agrupada junto à área de floresta, o que ocorreu, provavelmente, devido a suas altas taxas de K e MOS. Outro grupo foi composto pelas áreas de urucum e guaraná, que apresentaram semelhanças em relação ao teor de argila e Tc.

Figura 6. Dendrograma da análise de agrupamento dos ambientes estudados no município de Canutama, Amazonas.

Conclusões

Houve predominância da fração areia, sendo encontrado os maiores teores na área de floresta secundária, que também apresentou os maiores valores de K, Ki e Kr, e menores valores de Tc.

A argila, G_{DIS} , Kr e Tc apresentaram aumento no decorrer da profundidade enquanto silte, G_{FLO} e K decresceram com o aumento da profundidade.

A K apresentou correlação positiva com silte, G_{FLO} e correlação negativa com argila, G_{DIS} , Kr e Tc.

A análise multivariada, possibilitou a formação de dois grupos. O Grupo I formado pela floresta e cupuaçu sendo discriminado pela argila e o grupo II sendo pela MOS, silte e K.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio da CAPES, FAPEAM e CNPq.

Referências

Barbosa, R.S., Marques Júnior, J., Barrón, V., Martins Filho, M.V., Siqueira, D.S., Peluco, R.G., Camargo, L.A., Silva, L.S., 2019. Prediction and mapping of erodibility factors (USLE and WEPP) by magnetic

susceptibility in basalt-derived soils in northeastern São Paulo state, Brazil. *Environmental Earth Sciences* 78, 1-12. doi: 10.1007/s12665-018-8015-0

Bellezoni, R.A., Iwai, C.K., Elis, V.R., Paganini, W.S., Hamada, J., 2014. Small-scale landfills: impacts on groundwater and soil. *Environmental Earth Sciences* 71, 2429–2439. doi: 10.1007/s12665-013-2643-1

Bertoni, J., Lombardi Neto, F., 1999. *Conservação do Solo*, 4. ed. Ícone, São Paulo.

Brasil. Ministério das Minas e Energia, 1957. *Projeto Radambrasil - Folha SB*. Rio de Janeiro.

Burak, D.L., Passos, R.R., Sarnaglia, S.A., 2010. Utilização da análise multivariada na avaliação de parâmetros geomorfológicos e atributos físicos do solo. *Enciclopédia Biosfera* 6, 1-11.

Castro, W.J., Lemke-De-Castro, M.L., Lima, J.O., Oliveira, L.F.C., Rodrigues, C., Figueiredo, C.C., 2011. Erodibilidade de solos do cerrado goiano. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente* 4, 305-320. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/1656>

Corrêa, E.A., Moraes, I.C., Pinto, S.A.F., Lupinacci, C.M., 2016. Perdas de solo, razão de perdas de solo e fator cobertura e manejo

- de canade-açúcar: primeira aproximação. *Revista do Departamento de Geografia* 32, 72-87. doi: 10.11606/rdg.v32i0.116671
- Denardin, J.E., 1990. Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos. Tese (Doutorado). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.
- Embrapa. Centro Nacional de pesquisas de solo, 1997. Avaliação da aptidão agrícola de áreas de cerrados em municípios do estado do Amazonas. Brasília.
- Embrapa. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária, 2017. Manual de métodos de análise de solo. Brasília.
- Embrapa. Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária, 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília.
- Flanagan, D.C., Livingston, S. J., 1995. Usda - Water erosion prediction project: WEPP user summary. West Lafayette: National Soil Research Laboratory & USDA - Agricultural Research Service.
- Franco, Â.M.P., Cassol, E.A., Pauletto, E.A., Inda, A.V., 2012. Erodibilidade do solo em entressulcos determinada experimentalmente e por modelos matemáticos em um argissolo vermelho. *Current Agricultural Science and Technology* 18. doi: 10.18539/CAST.V18I2.2561
- Freitas, L., Casagrande, J.C., Oliveira, I.A., Campos, M.C.C., Silva, L.S., 2015. Técnicas multivariadas na avaliação de atributos de um Latossolo vermelho submetido a diferentes manejos. *Brazilian Journal of Agricultural Sciences/Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 10, 17-26. doi: 10.5039/agraria.v10i1a3928
- Huang, T.C.C., Lo, K.F.A., 2015. Effects of Land Use Change on Sediment and Water Yields in Yang Ming Shan National Park, Taiwan. *Environments* 2, 32-42. doi: 10.3390/environments2010032
- Ibm Corp. Released, 2012. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY:IBM Corp.
- Klein, C., Klein, V.A., 2014. Influência do manejo do solo na infiltração de água. *Revista Monografias Ambientais* 13, 3915-3925. doi: 10.5902/2236130814989
- Lima, C.G., Marques, S.M., Lollo, J.A., Costa, N.R., Carvalho, M.P., 2019. Inter-relationships among erodibility, soil tolerance and physical-chemical attributes in northwestern of São Paulo state. *Journal of Urban and Environmental Engineering* 13, 102-114. doi: 10.4090/juee.2019.v13n1.102114
- Lima, J.S.S., Souza, G.S.D., & Silva, S.D.A., 2013. Distribuição espacial da matéria orgânica, grau de flocculação e argila dispersa em água em área de vegetação natural em regeneração e pastagem. *Revista Árvore* 37, 539-546. doi: 10.1590/S0100-67622013000300017
- Lourenço, I.H., Brito Filho, E.G., Campos, M.C.C., Soares, M.D.R., Brito, W.B.M., & Cunha, J. M., 2020. Avaliação da erodibilidade do solo em áreas de terra preta arqueológica com pastagem e floresta nativa no sul do Amazonas. *Acta Iguazu* 9, 90-98. Disponível em: <http://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/22028>
- Manly, B.J.F., 2008. Métodos estatísticos multivariados: uma introdução. 3rd ed. Bookman. Porto Alegre.
- Nunes, J.G., Campos, M.C.C., Nunes, J.C., Mantovanelli, B.C., Cunha, J.M., Soares, M.D.R., 2017. Aplicação da equação universal de perdas de solo na região sul do Amazonas. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde* 15, 548-557. doi: 10.5892/ruvrd.v15i2.2991
- Nunes, M.C.M., Cassol, E.A., 2008. Estimativa da erodibilidade em entressulcos de Latossolos do Rio Grande Do Sul. *Revista Brasileira Ciência do Solo* 32, 2839-2845. doi: 10.1590/S0100-06832008000700030
- Oliveira, A.P.P., Lima, E., Anjos, L.H.C., Zonta, E., Pereira, M.G., 2014. Sistemas de colheita da canade-açúcar: Conhecimento atual sobre modificações em atributos de solos de tabuleiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 18, 939-947. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18n09p939-947
- Prado, R.M., Natale, W., 2003. Alterações na granulometria, grau de flocculação e propriedades químicas e de um Latossolo Vermelho Distrófico, sob plantio direto e reflorestamento. *Acta Scientiarum: Agronomy* 25, 45-52. doi: 10.4025/actasciagron.v25i1.2344
- Salvati, L., Bajocco, S., Ceccarelli, T., Perini, L., 2013. Amplifying (or reversing) the territorial disparities in land vulnerability to soil degradation: The Case of Italy. *The Professional Geographer* 65, 647-663. doi: 10.1080/00330124.2012.724351

- Santos, L.A.C.D., Campos, M.C.C., Aquino, R.E.D., Bergamin, A.C., Silva, D.M.P.D., Marques Junior, J., França, A.B.C., 2013. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 37, 825-836. doi: 10.1590/S0100-06832013000400001
- Silva, L.F.S., Andrade Marinho, M., Oliveira Rocco, E., Walter, M.K.C., Boschi, R. S., 2016. Métodos indiretos de estimativa da erodibilidade de um latossolo vermelho da região de Campinas, SP. *Revista Ciência, Tecnologia & Ambiente* 3, 51-58. Disponível em: <http://www.revistacta.ufscar.br/index.php/revistacta/article/view/25>
- Soares, M.D.R., Campos, M.C.C., Souza, Z.M., Brito, W.B.M., Franciscon, U., Castione, G.A., 2015. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de Terra
- Wang, X., Zhao, X., Zhang, Z., Yi, L., Zuo, L., Wen, Q., Liu, F., Xu, J., Hu, S., Liu, B., 2016. Assessment of soil erosion change and its relationships with land use/cover change in China from the end of the 1980s to 2010. *Catena* 137, 256-268. doi: 10.1016/j.catena.2015.10.004
- Watanabe, M., Oliveira, F.A., Nunes, D.D., Silva Nunes, A.C., Aguiar Cavalcante, M.M., Aguiar, T. C., 2018. Análise do impacto do desmatamento no aporte sedimentar de bacias pareadas na Amazônia ocidental: Preta Arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM. *Revista de Ciências Agrárias* 58, 434-441. doi: 10.4322/rca.1975
- Taleshian Jeloudar, F., Ghajar Sepanlou, M., Emadi, S.M., 2018. Impact of land use change on soil erodibility. *Global Journal of Environmental Science and Management* 4, 59-70. doi: 10.22034/GJESM.2018.04.01.006
- Vale Júnior, J.F., Souza, M.I.L., Nascimento, P.R.R., Cruz, D.L.S., 2011. Solos da Amazônia: Etnopedologia e desenvolvimento sustentável. *Revista Agro@mbiente* 5, 158-165. doi: 10.18227/1982-8470ragro.v5i2.562
- Wang, B., Zheng, F., Römken, M.J., Darboux, F., 2013. Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences. *Geomorphology* 187, 1-10. doi: 10.1016/j.geomorph.2013.01.018
- bacias do rio mutum-paraná, Rondônia (Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia* 19. doi: 10.20502/rbg.v19i3.1287
- Wischmeier, W.H., Johnson, C.B. & Cross, B.V., 1971. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil Water Conserv* 26, 189-193.
- Yeomans, J.C., Bremner, J.M., 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Communication in Soil Science and Plant Analysis* 19, 1467-1476. doi: 10.1080/00103628809368027