



FORMULÁRIO PARA RELATÓRIO FINAL

1. IDENTIFICAÇÃO DO PROJETO

Título do Projeto PIBIC/PAIC

VARIABILIDADE ESPACIAL DA ERODIBILIDADE DE TERRAS PRETAS ARQUEOLÓGICAS SOB USOS COM CACAU, CAFÉ E PASTAGEM EM APUÍ E MANICORÉ, AM

Orientador

MILTON CÉSAR COSTA CAMPOS

Aluno

WILDSON BENEDITO MENDES BRITO

2. INFORMAÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

2.1 Este documento é confidencial?

SIM

NÃO

2.2 Este trabalho ocasionará registro de patente?

SIM

NÃO

2.3 Este trabalho pode ser liberado para reprodução?

SIM

NÃO

**2.4 Em caso de liberação parcial, quais dados podem ser liberados?
Especifique.**



UFAM



3. RESUMO

A erodibilidade é a propriedade do solo que representa à maior ou menor susceptibilidade com que suas partículas da camada mais superficial são desprendidas e transportadas para locais mais baixos por agentes erosivos, podendo causar prejuízos ambientais e econômicos. Este trabalho objetivou investigar a variabilidade espacial da erodibilidade dos solos em áreas de Terras Pretas Arqueológicas (TPAs) sob cultivo com cacau, café e pastagem na região de Apuí e Manicoré, AM. Foi realizado a coleta de solo nas três áreas de TPAs, sendo estabelecida nas mesmas, malhas de 80 m x 54 m com espaçamento regular de 8 m entre os pontos, perfazendo um total de 88 pontos amostrais por malha, esses pontos foram georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE) e em seguida, coletadas amostras na profundidade de 0,0-0,20m. Foram realizadas análises texturais, matéria orgânica, fracionamento da areia e estabilidade dos agregados. Após essa etapa, foram utilizados modelos indiretos de predição de perdas do solo para estimativa dos fatores de erodibilidade (K , K_i , K_r e τ_c). Em seguida, aplicou-se análises estatísticas descritivas e geoestatística para modelagem da variabilidade espacial dos atributos estudados. Os valores do fator K se situaram entre $-0,0299$ e $0,0875 \text{ t h MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ estando além dos extremos previstos por pelo modelo de predição. Quanto ao grau de dependência espacial, a maioria das variáveis apresentaram dependência espacial, com exceção feita para DMP e fator K nas áreas de pastagem e cacau, respectivamente. O alcance variou entre 12 m e 68,8 m estando maior que o espaçamento entre pontos amostrais, e menores que o comprimento máximo limitado pela análise geoestatística, justificando assim o seu grau de dependência espacial. A partir das análises descritivas verificou-se a necessita de mais estudos em áreas de TPAs para validação concreta de um modelo matemático para previsão da erodibilidade.

Palavras chave: erodibilidade, TPAs, geoestatística.

4. INTRODUÇÃO

A erodibilidade é a propriedade do solo que representa à maior ou menor susceptibilidade com que suas partículas da camada mais superficial são desprendidas e transportadas para locais mais baixos por agentes erosivos (chuva, rios, vento, etc.) devido às propriedades físicas, químicas, morfológicas, biológicas e mineralógicas do solo



UFAM

(BASTOS, 2004; MANNIGEL et al, 2002; SILVA et al, 1999; MACEDO et al, 2010). O fator erodibilidade do solo, (denominado como fator K), reflete essas propriedades como resultado das características físicas de textura, estrutura, agregação e porosidade e, é fortemente influenciado pela relação entre a perda de solo e a erosão hídrica. Enquanto que o fator tolerância de perda representa a quantidade de solo que pode ser perdida mantendo seus níveis iniciais de fertilidade e produtividade (MIQUELONI & BUENO, 2011; MANNIGEL et al, 2002).

BASTOS (2004) fazendo um estudo detalhado sobre a erosão hídrica explicita que, além do fator K, há ainda três fatores que representam a susceptibilidade do solo à desagregação, em função da lâmina de fluxo superficial que escoar em direção às cotas mais baixas do terreno, que tende a se concentrar gerando linhas de fluxo (filetes), responsáveis pela formação dos sulcos (fator erodibilidade em sulcos – K_r). O fluxo concentrado é chamado de fluxo em sulcos, enquanto que o fluxo nas áreas entre os sulcos e em direção a estes é o fluxo entressulcos (fator erodibilidade em entressulcos – K_i). E a resistência ao cisalhamento (τ_c – tensão cisalhante crítica) que é tido como um fator mecânico importante no destacamento de partículas por impacto de gotas ou escoamento superficial, influenciando no rolamento e deslizamento de grãos.

A determinação da erodibilidade é de difícil obtenção devido à complexa interação que essa propriedade se encontra com o meio biótico e abiótico, sendo necessário o estudo do solo em seu nível mais detalhado, que é representado pelo ramo da mineralogia do solo, e levando-se em conta principalmente o atributo físico textura, que influencia a resistência do solo à desagregação através de sua distribuição granulométrica (BARBOSA, 2014; FREITAS, 2014). MORGAN (1995) também argumenta que a erodibilidade varia com a textura do solo, a estabilidade dos agregados, a capacidade de infiltração, a composição química e orgânica do material além de fatores relacionados à resistência dos constituintes ao destacamento.

SILVA et al. (1999) afirma que para fins de conservação do solo, notadamente no Brasil, a erodibilidade constitui-se no fator de maior custo e morosidade para sua determinação em face de sua extensão territorial e diversidade edáfica. Além de toda essa dificuldade, a erodibilidade dos solos é tida como um dos principais problemas de manejos de solos agricultáveis, pois influencia diretamente a qualidade do solo, uma vez que está relacionada com perda de solo, perda de nutrientes e alteração de seus atributos (FREITAS, 2014; MACEDO et al., 2010).



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

RELATÓRIO FINAL PIBIC/PAIC 2015-2016



Assim, diversos pesquisadores têm propostos modelos de predição de perdas de solo que possibilitam considerar as variações espaciais e temporais dos fatores condicionantes dos processos erosivos, com o intuito de prever sua magnitude e visando implementar ferramentas que possibilitam avaliar as perdas de solo com propósitos de: auxiliar no planejamento agrícola, aplicação de técnicas conservacionistas que reduzam estas perdas ao máximo, minimização dos prejuízos ambientais e econômicos e, melhoramento da qualidade do solo; principalmente em locais onde as perdas de solo são superiores aos limites toleráveis (AMORIM et al., 2010; FREITAS, 2014).

Tendo em vista que os modelos de predição de erosão existentes foram desenvolvidos e ajustados para condições de clima temperado, condições estas bem diferentes do clima tropical, torna-se de fundamental importância a verificação da aplicabilidade destes modelos para as condições edafoclimáticas brasileiras, antes de serem extensivamente utilizados para a predição da erosão (AMORIM et al., 2010; CECÍLIO et al., 2009), principalmente de terras pretas arqueológicas (TPAs, ou Terras Pretas de Índio – TPIs), que são solos que se apresentam em formas de manchas descontínuas por toda a Amazônia, compreendem solos caracteristicamente de coloração escura e fragmentos de cerâmica e/ou líticos incorporados aos seus horizontes mais superficiais, apresentam elevada fertilidade natural, com elevados teores de P, Ca, Mg e matéria orgânica estável, além de maior atividade biológica, quando comparados aos solos adjacentes (GERMAN, 2003; KÄMPF & KERN, 2005; GLASER, 2007).

Em relação à distribuição da variabilidade espacial dos atributos do solo, a geoestatística pela análise de semivariogramas, tem sido a técnica mais utilizada para a caracterização das variabilidades espacial e temporal. Visando investigar se há ou não um grau de dependência ou continuidade dos atributos estudados de amostra para amostra, a obtenção de semivariogramas representativos depende fundamentalmente do número de pares de pontos encontrados em determinada direção, para diferentes distâncias. E, portanto, são essenciais para o gerenciamento de informações e que por meio destas, é possível o mapeamento dos atributos por meio da elaboração de mapas de prescrição. Usualmente, o interesse da análise geoestatística não se limita à obtenção de um modelo de semivariograma e seus parâmetros, desejando-se também prever valores em pontos não amostrados, sobretudo de atributos que sofrem influência do manejo, como é o caso da matéria orgânica e densidade do solo. Assim, o conhecimento da variabilidade espacial dos atributos do solo é fundamental e só é possível com o uso de técnicas geoestatísticas,



que possibilitam a interpretação dos resultados, com base na estrutura da variabilidade natural dos atributos, permitindo o melhor controle dos fatores de produção das culturas e monitoramento ambiental (ALVES et al., 2014; CARVALHO et al., 2010; GOMES et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2013).

Desse modo, pouquíssimos estudos têm sido realizados no Brasil objetivando a avaliação da variabilidade espacial da erodibilidade com a validação de modelos de perdas de solo, principalmente WEPP e USLE. Logo, busca-se a utilização de um menor número de parâmetros, para estimar a variabilidade dos fatores erodibilidade do solo, os quais devem ser de determinação fácil, rápida e de baixo custo, em laboratório e retratar ao máximo, com ajuda da geoestatística, as condições de campo. Apesar de as informações obtidas em laboratório representarem situações sob condições controladas, os mesmos devem ser semelhantes aos obtidos em campo (FREITAS, 2014).

Assim, objetiva-se com este trabalho determinar a variabilidade espacial da erodibilidade, através da estimativa dos fatores K , K_i , K_r , e τ_c em TPAs sob usos com cacau, café e pastagem em Apuí e Manicoré-AM.

5. JUSTIFICATIVA

A erosão hídrica é um dos maiores problemas da agricultura em todo mundo, sendo responsável pelo transporte de sedimentos que poluem corpos d'água e assoreiam reservatórios causando problemas à qualidade e disponibilidade de água, perda de grande quantidade de nutrientes, matéria orgânica, defensivos agrícolas e sementes, carregados juntamente com os sedimentos removidos pelo escoamento superficial, causando prejuízos diretos à produção agropecuária (CECÍLIO et al., 2009).

Além disso, a determinação da erodibilidade é de difícil obtenção devido à complexa interação em que o solo está circundado, estando entre os principais problemas de solos agricultáveis, uma vez que compromete a qualidade e conservação do solo. Sendo necessário seu estudo no nível mais detalhado, compreendendo análises físicas, químicas e mineralógicas, para posterior caracterização da problemática através da distribuição da variabilidade espacial.

Visto isso, as TPAs são solos com elevada fertilidade natural na camada A antrópica e se apresentam heterogêneos em relação aos seus atributos físicos e fertilidade, o que pode gerar, com o tempo de uso sem a devida conservação, e principalmente onde a perda de solo pela erosão ultrapassa os limites toleráveis, grande perda/desgaste deste recurso



natural altamente agricultável, no que pode significar a descaracterização deste tipo de solo. Portanto, este trabalho apresenta-se como uma oportunidade de monitorar, avaliar e determinar a magnitude dessas perdas através variabilidade dos atributos físicos, químicos e mineralógicos da erodibilidade de diferentes áreas de TPAs a partir de modelos indiretos de determinação.

6. OBJETIVOS

6.1 Objetivos Gerais

- Avaliar a variabilidade espacial da erodibilidade de Terras Pretas Arqueológicas sob usos com cacau, café e pastagem em Apuí e Manicoré, AM.

6.2 Objetivos Específicos

- Investigar a variação espacial dos atributos da erodibilidade K , K_i , K_r e τ_c em áreas de terras pretas arqueológicas sob uso com cacau.
- Determinar a variabilidade espacial dos atributos da erodibilidade K , K_i , K_r e τ_c em áreas de terras pretas arqueológicas sob uso com café.
- Propor valores admissíveis de perda de solos e avaliação da distribuição espacial dos atributos da erodibilidade K , K_i , K_r e τ_c em áreas de terras pretas arqueológicas sob uso com pastagem.

7. METODOLOGIA

7.1 Metodologia de Campo e Laboratório

Os estudos serão realizados em três áreas de TPAs, sub usos com café, cacau e pastagem, localizadas no Sul do Amazonas, na região de Apuí e Manicoré. Para cada área de TPA, será estabelecida uma malha de 80 m x 54 m com espaçamento regular de 8 m entre os pontos amostrais. Os solos serão amostrados nos pontos de cruzamento das malhas, na profundidade de 0,00-0,20 m, perfazendo um total de 88 pontos amostrais em cada área, e totalizando 264 amostras. Esses pontos serão georreferenciados com um equipamento de GPS para construção do Modelo Digital de Elevação (MDE).



7.1.1 Análises Físicas

Em cada ponto amostral, serão coletadas amostras com estrutura preservada na forma de “torrão”, para determinação da estabilidade dos agregados do solo. As amostras serão levemente destorroadas, de forma manual, e passadas em peneira de 9,51 mm e 4,76 mm de diâmetro de malha, e secadas à sombra para as análises relativas à agregação. A separação e estabilidade dos agregados serão determinadas segundo KEMPER & CHEPIL (1965), com modificações, nas seguintes classes de diâmetro: >2,0; 2,0-1,0; 1,0-0,25; 0,25-0,10; 0,10-0,05 e <0,05 mm. Os agregados provenientes da peneira de 4,76 mm serão colocados em contato com a água, dentro do equipamento agitador tipo yoder, sobre a peneira de 2,0 mm por quinze minutos, a massa do material retido em cada peneira, será colocada em estufa a 105°C. Os resultados serão expressos pelo diâmetro médio ponderado (DMP) das partículas.

Em seguida, serão realizadas análises granulométricas, 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, seguindo metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). A fração argila será separada por sedimentação, a areia por tamisação e o silte foi calculado por diferença.

Adiante, será realizado o peneiramento das amostras para determinação das dimensões das partículas sólidas analisadas, utilizando-se de 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. Considerando o tipo de solo e a finalidade deste trabalho, cada amostra será agitada durante 15 minutos utilizando-se as peneiras comuns com malhas de 2mm; 1mm; 0,5mm; 0,250mm; 0,125mm e 0,063mm. As peneiras ficarão arranjadas de modo a poderem ser encaixadas umas nas outras formando uma coluna de peneiração. Na parte superior desta coluna existe 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.

7.1.2 Análises Químicas

Serão realizadas análises químicas referentes à determinação da matéria orgânica (M.O), estimada com base no carbono orgânico total de acordo com metodologia de



Walkley-Black, e modificado por YOEMANS E BREMNER (1988). Considerando-se que o húmus contem aproximadamente 58% de carbono, a M.O. será estimada pela expressão:

$$M.O. = C.O. \times 1,724$$

7.2 Cálculo dos Fatores Erodibilidade (K , K_i , K_r) e Tensão Cisalhante Crítica (τ_c)

Para determinação das perdas de solo, serão 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 serão utilizados os modelos USLE e WEPP para determinação dos fatores condicionantes da erosão nas TPAs.

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

$$K = 0,00000748 M + 0,00448059 p - 0,0631175 \text{ DMP} + 0,01039567 X_{32} \quad (1)$$

em que,

M = novo silte (novo silte + nova areia);

p = permeabilidade codificada segundo WISCHMEIER et al. (1971);

DMP = diâmetro médio ponderado das partículas do solo inferiores a 2,00 mm;

X_{32} = nova areia ($\text{MO}/100$);

Novo silte = silte + areia muito fina, %;

Nova areia = areia muito grossa + areia grossa + areia média + areia fina, %.

Para o cálculo da erodibilidade em entressulcos do modelo WEPP (K_i , kg s m^{-4}) serão utilizadas as equações propostas por FLANAGAN E LIVINGSTON (1995) (Eq. 2 e 3):

$$K_{i\text{WEPP}} = 2728000 + 192100 \text{ AMF}, \quad \text{areia} \geq 30\% \quad (2)$$

$$K_{i\text{WEPP}} = 6054000 - 55130 \text{ ARG}, \quad \text{areia} < 30\% \quad (3)$$

em que,



UFAM

AMF = percentual de areia muito fina, %;

ARG = percentual de argila, %.

Para calcular a erodibilidade em sulcos (K_r , $s\ m^{-1}$) e a tensão cisalhante (τ_c , $N\ m^{-2}$) do modelo WEPP serão utilizadas as equações propostas por FLANAGAN E LIVINGSTON (1995) (Eq. 4, 5, 6 e 7):

$$K_{rWEPP} = 0,00197 + 0,00030\ AMF + 0,03863\ e^{-1,84\ MO} \quad \text{areia} \geq 30\% \quad (4)$$

$$\tau_{cWEPP} = 2,67 + 0,065\ ARG - 0,058\ AMF \quad \text{areia} \geq 30\% \quad (5)$$

$$K_{rWEPP} = 0,0069 + 0,134\ e^{-0,20 \cdot ARG} \quad \text{areia} < 30\% \quad (6)$$

$$\tau_{cWEPP} = 3,5 \quad \text{areia} < 30\% \quad (7)$$

em que,

AMF = percentual de areia muito fina, %;

e = base dos logaritmos neperianos;

MO = percentual de matéria orgânica do solo, %;

ARG = percentual de argila, %;

7.3 Análises Estatísticas

Serão calculados os valores de média, mediana, desvio padrão, variância, coeficiente de variação, coeficiente de assimetria e de curtose das variáveis determinadas em laboratório. A hipótese de normalidade dos dados será avaliada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, no software estatístico Minitab Release 17 (MINITAB, 2013).

A seguir, será realizada a caracterização da variabilidade espacial dos fatores erodibilidade, utilizando-se a análise geoestatística. Sob teoria da hipótese intrínseca, o semivariograma experimental será estimado pela Eq. (8).

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (8)$$



Sendo: $\gamma(h)$ - valor da semivariância para uma distância h ; $N(h)$ - número de pares envolvidos no cálculo da semivariância; $Z(x_i)$ - valor do atributo Z na posição x_i ; $Z(x_i+h)$ - valor do atributo Z separado por uma distância h da posição x_i .

Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$ são definidos os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita, C_0 ; patamar, C_1 ; variância estrutural, $C_0 + C_1$; e o alcance, a). O efeito pepita é o valor da semivariância para distância zero e representa o componente da variação ao acaso; o patamar é o valor da semivariância em que a curva estabiliza sobre um valor constante; o alcance é a distância da origem até onde o patamar atinge valores estáveis, expressando a distância além da qual as amostras não são correlacionadas.

Na determinação da existência ou não da dependência espacial, utilizar-se o exame de semivariogramas, por meio do programa GS+ (ROBERTSON, 2004). Em caso de dúvida entre mais de um modelo para o mesmo semivariograma, considerara-se o melhor R^2 (coeficiente de determinação).

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da análise descritiva da fração granulométrica (tabela 1), verifica-se que na área de café e cacau houve dominância da fração silte muito superior à da fração areia e argila, apresentando uma textura siltosa, enquanto que para área de pastagem houve a dominância de areia, constituindo assim, uma textura arenosa para esta área. SANTOS et al. (2013) realizando caracterização de TPAs no sul do Amazonas, obtiveram resultados semelhantes, na qual todos os perfis apresentaram dominância da fração silte no horizonte antrópico com uma única exceção. Isto ocorre provavelmente devido ao alto grau de intemperização e uso contínuo do solo. Corroborando também com AQUINO et al. (2014) que obtém dominância de silte e argila em solo antropogênico em estudo com variabilidade espacial de solos antropogênicos e não-antropogênicos no sul do Amazonas.

Conforme a tabela 1, a média e mediana apresentam-se bem próximos para o DMP e MO para todas as áreas, o que significa que os dados apresentam ou se aproximam de uma distribuição normal. A matéria orgânica (M.O) apresentou valores de média variando entre 74,02 a 248,39 g kg⁻¹ para área de cacau e pastagem, respectivamente, justificando os altos valores de DMP. Isso ocorre pelo fato de as moléculas orgânicas atuarem nas



UFAM

etapas de formação e estabilização dos agregados, além de servirem como fonte de energia para os microrganismos, que são importantes agentes de agregação (SILVA et al., 2008 apud WOHLBERG et al., 2004). Já DMP apresentou valores entre 2,87 e 3,09 mm, decrescendo de acordo com o tipo de cultivo que requer maior quantidade de MO.

Em relação aos fatores da erodibilidade, os valores de K se situam entre -0,0299 e 0,0875 t h MJ⁻¹ mm⁻¹ (tabela 1). De acordo com levantamento de DENARDIN (1990), o qual avaliou os valores de K para latossolos brasileiros, verificou-o valores variando de 0,002 a 0,034 t h MJ⁻¹ mm⁻¹, o que comprova que esses valores estão além dos extremos previstos por esse autor. Corroborado por FREITAS (2014) e BARBOSA (2014) em estudo sobre erodibilidade de latossolos do estado de São Paulo, os quais obtiveram valores variando na mesma faixa de valor, indicando a inadequação deste modelo matemático para terras pretas arqueológicas. No entanto, MACEDO et al., (2010) em estudo do fator K de diferentes classes de solo do estado do Amazonas, obtém valores variando de 0,02 a 0,03 para três áreas de TPAs utilizando também o modelo proposto por DENARDIN (1990), comprovando que o mesmo modelo também se encaixa para a estimativa da erodibilidade deste tipo de solo, mas, contudo, deixando uma lacuna a respeito dos valores deste presente trabalho.

Através dos limites de coeficiente de variação propostos por WARRICK & NIELSEN (1980), que propõe um padrão para classificação de variáveis do solo na qual têm se $CV < 12\%$, $12 < CV < 60\%$, e $CV > 60\%$ para baixa, média e alta variabilidade, respectivamente, diz-se que os atributos apresentaram baixa variabilidade para silte e DMP; média variabilidade para areia, argila, K_i , K_r e T_c ; e alta variabilidade o fator K em todas as áreas. Resultados de CV% altos assim indicam a baixa representatividade das amostras coletadas em campo para essa variável, além da inadequação do modelo matemático proposto para essa variável.

Quanto ao coeficiente de assimetria, todos os atributos apresentaram-se simétricos, com valores variando entre -0,8 a 0,85, com exceção para areia na área de pastagem, T_c na área de café e K_r na área de cacau. A curtose significa o grau de achatamento de uma distribuição em relação à distribuição normal e deve se aproximar de 3 para assumir que os dados seguem uma distribuição normal (LOPES, 2013). Logo, todas as variáveis apresentaram distribuição de dados um pouco mais achatada do que de uma distribuição normal, apesar de os coeficientes de assimetria estar próximos de zero, com única exceção feita para K_r na área de cacau, que apresentou valor de 5,36.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

RELATÓRIO FINAL PIBIC/PAIC 2015-2016



UFAM

Tabela 1: Estatística descritiva das variáveis analisadas em laboratório, retiradas dos ambientes de TPA sob o uso com pastagem no município de Manicoré, AM.

Estatística Descritiva	Camada 0,0 – 0,20 m							
	Parâmetros							
Variáveis	Média	¹ Med	² DP	³ Var	⁴ CV	⁵ Assim	⁶ Curt	⁷ d
Área de Pastagem								
A.T.	707,76	711,49	28,63	819,67	4,05	-1,02	1,82	0,12
Silte	226,43	224,26	28,79	828,71	12,71	0,62	1,38	0,06*
Argila	65,80	64,14	16,12	259,95	24,50	0,45	-0,05	0,08*
M.O.	233,46	233,60	4,51	20,31	1,93	-0,09	-0,14	0,05*
DMP	3,09	3,12	0,10	0,01	3,19	-0,87	0,36	0,12
K	$-2,99 \times 10^{-2}$	$-3,80 \times 10^{-2}$	$4,26 \times 10^{-2}$	$1,81 \times 10^{-3}$	-142,48	0,50	-0,62	0,09*
K _{i wepp}	$4,00 \times 10^6$	$3,95 \times 10^6$	$8,64 \times 10^5$	$7,46 \times 10^{11}$	21,58	0,12	0,33	0,07*
K _{r wepp}	$3,96 \times 10^{-3}$	$3,88 \times 10^{-3}$	$1,35 \times 10^{-3}$	$2,00 \times 10^{-6}$	34,07	0,12	0,33	0,07*
τ _{c wepp}	$2,71 \times 10^4$	$2,77 \times 10^4$	$3,08 \times 10^{-1}$	$9,51 \times 10^{-2}$	11,36	-0,12	-0,25	0,12
Área de Café								
A.T.	375,55	375,20	26,74	715,06	7,12	0,15	0,18	0,07*
Silte	607,96	608,71	26,64	709,79	4,38	-0,18	0,02	0,05*
Argila	17,04	16,79	1,83	3,36	10,76	0,78	0,49	0,12
M.O.	248,39	249,37	20,48	419,28	8,24	-0,06	0,11	0,03
DMP	3,03	3,02	0,10	0,01	3,34	-0,14	0,16	0,05*
K	$8,75 \times 10^{-2}$	$8,56 \times 10^{-2}$	$9,13 \times 10^{-2}$	$8,30 \times 10^{-3}$	104,35	-0,04	0,13	0,04
K _{i wepp}	$6,51 \times 10^6$	$6,08 \times 10^6$	$1,80 \times 10^6$	$3,25 \times 10^{12}$	27,71	0,85	1,21	0,10
K _{r wepp}	$7,88 \times 10^{-3}$	$7,21 \times 10^{-3}$	$2,82 \times 10^{-3}$	$8,00 \times 10^{-6}$	35,77	0,85	1,21	0,10
τ _{c wepp}	1,63	1,76	0,56	0,32	34,68	-1,00	2,21	0,10
Área de Cacau								
A.T.	201,41	199,14	33,38	1114,28	16,57	0,19	-0,66	0,08*
Silte	549,89	550,49	21,00	440,90	3,82	-0,81	1,16	0,10
Argila	248,03	246,25	39,27	1542,00	15,83	0,24	-0,36	0,04*
M.O.	74,02	73,21	10,60	112,27	14,31	0,38	-0,40	0,08*



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

RELATÓRIO FINAL PIBIC/PAIC 2015-2016



DMP	2,87	2,86	0,20	0,04	7,24	-0,38	0,68	0,05*
K	$5,79 \times 10^{-2}$	$4,32 \times 10^{-2}$	$1,85 \times 10^{-1}$	$3,42 \times 10^{-2}$	319,30	0,61	0,56	0,09*
K_i wepp	$4,69 \times 10^6$	$4,70 \times 10^6$	$2,16 \times 10^5$	$4,69 \times 10^{10}$	4,62	-0,24	-0,36	0,04*
K_r wepp	$6,77 \times 10^{-3}$	$6,85 \times 10^{-3}$	$1,94 \times 10^{-4}$	0,00	2,86	-2,35	5,36	0,25
τ_c wepp	3,5	3,5	0	0	0	-	-	-

¹Med: mediana; ²DP: desvio padrão; ³Var: variância; ⁴CV: coeficiente de variação (%); ⁵Assim: assimetria; ⁶Curt: Curtose; ⁷d: teste de normalidade (Kolmogorov-Smirnov); A.T.: areia total (g kg^{-1}); M.O.: matéria orgânica (g kg^{-1}); DMP: diâmetro médio ponderado, (mm); K: erodibilidade do solo, ($\text{t ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1} \text{ha h}$); K_i wepp: erodibilidade em entressulcos, (kg s m^{-4}); K_r wepp: erodibilidade em sulcos, (s m^{-1}); τ_c wepp: tenção cisalhante, (N m^{-2}); *significativo a 5 % de probabilidade.

Quanto ao teste de normalidade (K-S) dos dados, que fornece o parâmetro valor de prova (valor-p, p-value ou significância), foram realizados com grau de confiança de 95%. Assim, a maioria das variáveis são significativas ao nível de 5% de probabilidade, estando coerentes com os valores de assimetria e curtose e, significando que as distribuições dos dados das variáveis estão normais (LOPES, 2013).

Os resultados da análise geoestatística (tabela 2) descrevem o comportamento dos modelos ajustados dos atributos do solo e da erodibilidade. Os resultados da validação cruzada foram superiores a 0,65 para as todas as variáveis estudadas, com exceção para os fatores da erodibilidade na área de pastagem. Estes valores de VC% garantem boa interpolação de dados pela krigagem ordinária. Os valores dos coeficientes de determinação também se encontram superiores a 0,65, corroborando esses parâmetros a indicar que os semivariogramas estão bem ajustados, possibilitando bom desempenho na confecção dos variogramas e dos mapas de distribuição espacial.

Quanto ao grau de dependência espacial, a maioria das variáveis apresentaram dependência espacial, com exceção feita para DMP e fator K nas áreas de pastagem e cacau, respectivamente, o qual apresentaram condição de Efeito Pepita, significando que as amostras são independentes para distancias menores que a utilizada neste estudo e que houve variações discrepantes não justificadas pela malha amostral, obtendo-se a pouca garantia da interpolação de dados, os quais foram inferiores a 0,65 tanto para R^2 como para VC. Para todas as variáveis se ajustaram os modelos exponencial e esférico como os melhores para expressar o comportamento destes atributos nas áreas de estudo, exceto para as variáveis que apresentaram condição de EP, pois para estas, o modelo é considerado indefinido.



Tabela 2: Parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais dos atributos da erodibilidade do solo em diferentes áreas de TPAs na região de Manicoré, AM.

Esf: Esférico; Exp.: Exponencial; ¹C⁰: efeito pepita; ²C⁰+C¹: patamar; ³a: alcance, m; ⁴R²: coeficiente de determinação; ⁵VC: validação cruzada; ⁶GDE%: Grau de Dependência Espacial.

Utilizando-se da análise do grau de dependência espacial (GDE%) de CAMBARDELLA et al. (1994), o qual propõe um método de análise do GDE através da razão da porcentagem entre o efeito pepita e o patamar ($C_0/(C_0+C_1) \times 100$), na qual são considerados de dependência espacial fraca quando GDE é $> 75\%$, dependência espacial moderada para GDE entre 25 e 75% e, dependência espacial forte para $GDE \leq 25\%$ do patamar; verifica-se que as variáveis apresentaram GDE moderado para as variáveis argila na área de café, e para areia, argila e DMP na área de cacau, enquanto que todas as demais variáveis apresentaram GDE forte, variando desde 0 até 14.

O alcance variou entre 12 m e 68,8 m estando maior que o espaçamento entre pontos amostrais, e menores que o comprimento máximo limitado pela análise geoestatística, justificando assim o seu grau de dependência espacial. Estes valores de alcance podem ser utilizados como intervalo de distância entre as unidades de solo a serem mapeadas futuramente (WEBSTER (2000)).

9. REFERÊNCIAS

ALVES, S. M. F.; QUEIROZ, D. M.; ALCÂNTARA, G. R.; REIS, E. F. Variabilidade espacial de atributos físico-químicos do solo usando técnicas de análise de componentes principais e geoestatística. **Bioscience Journal**. Uberlândia, v. 30, supplement 1, p. 22-30, 2014.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLE e WEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.30, n.6, p.1046-1049, 2010.

AQUINO, R. E.; CAMPOS, M. C. C.; OLIVEIRA, I. A.; MARQUES JUNIOR, J.; SILVA, D. M. P.; SILVA, D. A. P. Variabilidade espacial de atributos físicos de solos antropogênico e não antropogênico na região de Manicoré, AM. **Biosciência Jornal**, Uberlândia, v. 30, n. 4, p. 988-997, July/Aug. 2014.

BARBOSA, R. S. **Erodibilidade de latossolos predita pela suscetibilidade magnética e espectroscopia de reflectância difusa**. Tese (doutorado em Ciência do Solo) -



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

RELATÓRIO FINAL PIBIC/PAIC 2015-2016



Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.

Geoestatística		Camada 0,00 – 0,05 m					
----- Parâmetros -----							
Atributos	Modelo	C ⁰	C ⁰ +C ¹	a (m)	R ²	VC (%)	GDE (%)
Área de Pastagem							
A.T.	Exp.	90,00	800,40	19,0	0,902	0,802	11
Silte	Exp.	0,50	666,00	13,0	0,853	0,790	0
Argila	Exp.	5,00	219,00	14,0	0,801	0,700	2
M.O.	Exp.	1,00	16,50	15,0	0,865	0,831	6
DMP	-	-	-	-	-	-	EP
K	Esf.	1,0x10 ⁻⁶	2,53x10 ⁻³	12,5	0,746	0,579	0
K _{i wepp}	Exp.	3,5x10 ¹⁰	5,83x10 ¹¹	16,0	0,645	0,604	6
K _{r wepp}	Esf.	6,0x10 ⁻⁸	1,65x10 ⁻⁶	17,2	0,680	0,562	3
τ _{c wepp}	Esf.	2,4x10 ⁻³	7,6x10 ⁻²	12,5	0,639	0,472	3
Área de Café							
A.T.	Exp.	0,03	0,27	20,4	0,941	0,800	11
Silte	Esf.	0,89	25,56	15,3	0,833	0,954	3
Argila	Esf.	5,37	9,24	37,6	0,835	0,933	58
M.O.	Esf.	0,27	6,77	15,2	0,705	0,991	4
DMP	Esf.	0,38	9,14	13,3	0,821	0,908	4
K	Exp.	1,4x10 ⁻³	1,1x10 ⁻²	25,2	0,911	0,900	12
K _{i wepp}	Exp.	1,0x10 ⁻³	8,6x10 ⁻³	24,9	0,947	0,962	11
K _{r wepp}	Exp.	1,2x10 ⁻³	1,0x10 ⁻²	21,9	0,825	0,903	12
τ _{c wepp}	Exp.	8,0x10 ⁻⁴	8,0x10 ⁻³	20,7	0,878	0,892	10
Área de Cacau							
A.T.	Esf.	19,57	40,16	52,9	0,912	0,901	48
Silte	Exp.	2,01	14,41	27,6	0,734	0,924	14
Argila	Esf.	5,39	12,01	68,8	0,968	0,925	45
M.O.	Exp.	1,85	15,18	21,0	0,829	0,830	12



UFAM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

RELATÓRIO FINAL PIBIC/PAIC 2015-2016



DMP	Esf.	0,02	0,04	50,9	0,923	0,746	50
K	-	-	-	-	-	-	EP
K _{i wepp}	Exp.	1,0x10 ⁻⁵	9,9x10 ⁻³	12,0	0,923	0,807	0
K _{r wepp}	Exp.	1,0x10 ⁻⁵	6,1x10 ⁻³	18,1	0,943	0,789	0
T _{c wepp}	Exp.	1,0x10 ⁻⁵	9,4x10 ⁻³	25,5	0,877	0,758	0

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados.** Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande Sul, Porto Alegre, 2004.

CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F. & KONOPKA, A.E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. **Soil Science Society of America Journal**, 58:1501-1511, 1994.

CARVALHO, S. R. L.; VILAS BOAS, G. S.; FADIGAS, F. S. Variabilidade espacial de atributos físicos e químicos em solos originados nos sedimentos da formação barreiras. **Cadernos de Geociências**. v. 7, n. 2, 2010.

CECÍLIO, R. A.; RODRIGUEZ, R. G.; BAENA, L. G. N.; OLIVEIRA, F. G.; PRUSKI, F. F. Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil). v.4, n.2, p. 39 – 45, 2009.

DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimado por meio de parâmetros físicos e químicos.** 1990, 114 f, Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luís de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, 212p. 1997.

FLANAGAN, D. C.; LIVINGSTON, S. J. **USDA - Water erosion prediction project: WEPP user summary.** West Lafayette: National Soil Research Laboratory & USDA – Agricultural Research Service, 1995. p. 25-26. (Report, 11).

FREITAS, L. **Qualidade e erodibilidade de Latossolos sob mata e cultivo de cana-de-açúcar.** 2014. F866q. Tese (doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2014.

GERMAN, L.A. Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. **Geoderma**, v.111, p.307–331, 2003.

GLASER, B. **Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century.** Philosophical Transactions of the Royal Society B, v.362, p.187–196, 2007.



UFAM

GOMES, N. M.; FARIA, M. A.; SILVA, A. M.; MELLO, C. R. & VIOLA, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.11, n.4, p.427–435, 2007.

KÄMPF, N.; KERN, D.C. **O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia**. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L.R.F.; COOPER, M.; SILVA, A.P.; CARDOSO, E.j. (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.277-320, 2005.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregates, In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARCK, F. E. eds, **Methods of soil analysis**, Madison, American Society of Agronomy, Soil Science of America, 1965, Part I, p,499-510.

LOPES, M. M.; VERÔNICA, T. F.; BRANCO, C. & SOARES, J. B. Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação. **Transportes**. v. 21, n. 1 (2013) p. 59–66.

MACEDO, R. S.; TEIXEIRA, W. G.; ENCINAS, O. C.; SOUZA, A. C. G.; MARTINS, G. C.; ROSSI, L. M. B. Determinação do fator erodibilidade de diferentes classes de solo do estado do Amazonas (métodos indiretos) e de um Cambissolo Háplico (método direto) na Província Petrolífera de Urucu, Coari – AM; **III Reunião Científica da Rede CTPetro Amazônia – Manaus, 4-5/11/2010**.

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M.P.; MORETI, D. & MEDEIROS, L.R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MINITAB Inc. **Release 17 for Windows**. State College, USA, 2013.

MIQUELONI, D. P. & BUENO, C.R.P. Análise multivariada e variabilidade espacial na estimativa da erodibilidade de um argissolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol.35, no.6. Viçosa. Nov./Dec. 2011.

MORGAN, R. P. C. **Soil erosion and Conservation**. 2. ed. [S.I.]: Longman Group Limited, 1995.

OLIVEIRA, I. A.; CAMPOS, M. C. C.; SOARES, M. D. R.; AQUINO, R. E.; JÚNIOR, J. M. & NASCIMENTO, E. P. Variabilidade espacial de atributos físicos em um Cambissolo Háplico, sob diferentes usos na região sul do Amazonas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 37:1103-1112, 2013.

ROBERTSON, G. P. **GS+: Geostatistics for the environmental sciences - GS+ User's Guide**. Plainwell: Gamma Design Software, 152 p, 2004.

SANTOS, L. A. C.; CAMPOS, M. C. C.; AQUINO, R. E.; BERGAMIM, A. C.; SILVA, D. M. P.; MARQUES JUNIOR, J. & FRANÇA, A. B. C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. **Revista brasileira de ciência do solo**, 37:825-836, 2013.

