

MATÉRIA ORGÂNICA EM SOLOS ARQUEOLÓGICOS AMAZÔNICOS: UMA REVISÃO

Mickael Leão Velloso Chateaubriand Bandeira de Mello^{1,3} & Ricardo Soares^{1,2,3}

Resumo: Solos de origem arqueológica são relevantes como objeto de estudo, pois contém informações que permitem entender sua gênese e uso no contexto cultural do passado. Solos arqueológicos ou terra preta de índio (TPIs) são um exemplo de como práticas antigas de manejo do solo influenciam positivamente sua fração orgânica e sua distribuição. Assim, estudos mencionam que, a presença da matéria orgânica nas TPIs apresenta maior estabilidade em comparação a solos adjacentes. A matéria orgânica tem ação relevante na fertilidade dos solos interferindo nas propriedades químicas, físicas e biológicas sendo assim um importante indicador de qualidade. As frações humificadas representam marcadores químicos estáveis destacando-se os ácidos húmicos, marcadores naturais da humificação. Contudo, a pressão populacional vem causando a degradação desses solos culminando com a perda da matéria orgânica. Esta pesquisa utilizou abordagem descritiva-documental buscando artigos científicos relacionados aos descritores: terra preta de índio; solos arqueológicos; matéria orgânica de solos arqueológicos. Foram coletados dados dos portais *Scielo*, plataforma *Google Scholar* e Periódicos Capes. Assim, foi possível obter um panorama da relevante importância cultural e ambiental das TPIs; benefícios das práticas de manejo para a fração orgânica do solo e; compreensão da composição e gênese das TPIs com foco na fração orgânica.

Palavras-chave: Terra preta de índio; carbono pirogênico; solos pré-Colombianos; bio-carvão.

Abstract: Soils with archaeological origin are relevant as object of study because it contains information that allows to understand its genesis and use in the cultural context of the past. Amazonian dark earth soils (ADE) are an example of how old practices positively influence their organic fraction and distribution. Thus, studies mention that, the presence of the organic matter in the TPIs presents greater stability in comparison to adjacent soils. Organic matter has relevant action on the fertility of the soil interfering in the chemical, physical and biological properties being an important indicator of quality. Humified fractions represent stable chemical markers, highlighting humic acids, natural markers of humification. However, population pressure has been causing degradation in these environments due to the expansion of cultivated area and agricultural practices that exhaust the soil. However, the population pressure has been causing the degradation of these soils culminating in the loss of organic matter. This research used a descriptive-documentary approach searching for scientific articles related to the descriptors: Indigenous black earth; Archaeological soil; Organic matter of archeological soils. Data were collected from Scielo portal, Google Scholar platform and Capes Newspaper. Thus, it was possible to obtain an overview of the relevant cultural and environmental importance of the TPIs; benefits of management practices for soil organic fraction and; understanding of the composition and genesis of TPIs focusing on the organic fraction.

Keywords: Indigenous dark earth soils; black carbon; pre-Columbian soils; bio charcoal

Introdução

Os solos de origem arqueológica possuem alta relevância como objeto de estudo, pois contém informações importantes sobre: a agricultura, pecuária ou atividades artesanais em sua região de ocorrência. Considerando questões importantes como as mudanças climáticas globais e a agricultura sustentável, os solos arqueológicos têm recebido mais atenção pelos seus elevados estoques de nutrientes, matéria orgânica e capacidade de sequestro de carbono. (Glaser *et al.* 2001, Madari *et al.* 2011, Glaser & Birk 2012, Wiedner *et al.* 2015, Marques *et al.* 2015).

O crescente interesse da comunidade científica no estudo dos solos arqueológicos da Amazônia - ou terras pretas de índio (TPIs) - se dá pela sua relação direta com a sua alta fertilidade e sustentabilidade, que é atribuída ao elevado nível de matéria orgânica e suas propriedades físicas e químicas como por exemplo a elevada reatividade das frações húmicas (Soares 2007, Cunha *et al.* 2009).

¹Universidade Veiga de Almeida; ²Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro; ³autores de correspondência: mickael.b.mello@gmail.com, ricardosoaresuff@gmail.com

Nesse sentido, a matéria orgânica do solo melhora sua fertilidade fornecendo nutrientes através da mineralização, capacidade de retenção de água e, atua como habitat para os microorganismos do solo (Fischer & Glaser 2012). Pabst (1991) e Glaser (2001) relataram que a presença da matéria orgânica nas TPI's pode ser seis vezes mais estável em comparação a solos adjacentes sem a formação do horizonte A antropogênico. Essa estabilidade é caracterizada por compostos aromáticos condensados (carbono pirogênico) e consiste principalmente de matéria orgânica carbonizada e outros componentes como fuligem (Glaser 2007). Outras fontes de matéria orgânica estão relacionadas com a matéria fecal, resíduos de plantas provenientes de alimentos e restos de animais (Glaser & Birk 2012, Macedo *et al.* 2017).

Assim, Soares (2007) e Madari (2011), descrevem que, se houver um conhecimento dos processos e mecanismos responsáveis pela formação das TPI's, é possível trazer a sua aplicação no manejo e na recuperação de solos degradados.

Atualmente, existem diversas áreas de TPI's que são utilizadas por agricultores familiares da Amazônia, que fazem sua exploração agrícola com diversas culturas de subsistência como milho, feijão e mandioca; existe também produção em larga escala, de frutas, hortaliças e até de grama, que visa o mercado internacional (Cunha 2005).

Ao utilizar esse tipo de solo para cultivo, eles obtêm uma alta produtividade, mesmo sem a utilização de insumos (fertilizantes) ou com a sua utilização em quantidade inferior, demonstrando dessa maneira a importância do estudo desses ambientes de forma a contribuir para uma produção sustentável em solos tropicais de baixa fertilidade (Soares 2007).

Considerando os fatores mencionados anteriormente, é de suma importância o estudo da dinâmica da matéria orgânica de solos antropogênicos, sua gênese e contribuição para a fertilidade. Este estudo limitou-se a selecionar algumas pesquisas científicas relacionadas à temática abordada sem contemplar a totalidade dos diversos estudos elaborados e teve como base a seguinte questão: Qual a importância e o potencial dos solos arqueológicos amazônicos para o desenvolvimento de sistemas de manejo com foco na matéria orgânica em solos tropicais?

Portanto, são necessárias mais pesquisas para melhor compreensão sobre as possíveis técnicas que eram utilizadas para a formação das TPIs, de forma a contribuir para o desenvolvimento de melhores práticas de manejo e conservação de solos amazônicos. A atual dinâmica do uso do solo na região coloca em risco a existência dos diversos sítios onde se localizam as TPIs, demonstrando a importância da temática para a conservação natural e cultural.

Assim, este trabalho teve o objetivo de avaliar a importância da matéria orgânica para os solos arqueológicos amazônicos. Especificamente buscar: comparar dados sobre a matéria orgânica dos solos arqueológicos e não arqueológicos da Amazônia e; reunir o conhecimento sobre o estado da arte dos solos arqueológicos amazônicos que demonstrem os benefícios das práticas de manejo para a fração orgânica do solo.

Material e Métodos

Esta pesquisa usou a abordagem descritiva-documental acerca da temática desenvolvida. Dessa forma, a partir de uma revisão sistemática da literatura com foco na matéria orgânica de solos antrópicos da Amazônia, pretende-se atingir os objetivos específicos propostos na pesquisa.

Foram utilizadas as bases de dados da Scielo (*Scientific Electronic Library OnLine*), da plataforma *Google Scholar* e Periódicos Capes como instrumentos de coleta de dados. Os descritores utilizados para tal foram: terra preta de índio; solos arqueológicos; matéria orgânica de solos arqueológicos.

A coleta de dados para a realização do presente trabalho ocorreu através de pesquisa bibliográfica. Trabalhos científicos foram obtidos em coleções de periódicos científicos e demais formas de divulgação científica em sites da internet relacionada ao tema estudado,

indexada nos bancos de dados da Scielo (*Scientific Electronic Library OnLine*), na plataforma *Google Scholar* e Periódicos Capes. Assim, a partir dos descritores utilizados, foi possível relacionar 29 artigos científicos para elaboração deste trabalho. Em seguida, foram selecionados estudos com foco na matéria orgânica de solos arqueológicos da Amazônia e sua formação, nos idiomas português e inglês, aceitando publicações de diversas datas para comparação dos dados.

Foi realizada a leitura do material e a compilação das principais informações referentes à proposta do estudo. Assim, realizou-se a análise descritiva das informações de forma a ampliar o conhecimento sobre a temática desenvolvida e realizar a elaboração do referencial teórico da pesquisa.

Revisão de Literatura

A proteção das florestas tropicais e o desenvolvimento do uso da terra nos trópicos úmidos são fundamentais, pois além de serem locais que apresentam uma alta biodiversidade, são de grande importância para a regulação do clima da Terra (Trumper *et al.* 2009).

Segundo McMichael *et al.* (2014), a percepção de que toda a Bacia Amazônica era uma floresta virgem ou um "paraíso não corrompido" antes da chegada europeia às Américas, foi refutada por pesquisas recentes que documentaram evidências da terraplenagem, de sociedades complexas e da modificação dos solos. No entanto, ainda permanece desconhecida a extensão total da modificação da planície Amazônica ocasionada pelos povos nativos.

Os solos que predominam na região Amazônica estão na classe dos Latossolos e Argissolos, caracterizando-se pelo seu elevado grau de intemperismo, com características físicas adequadas ao uso agrícola, mas que apresentam fortes restrições nutricionais. (Lima *et al.* 2006).

Marques *et al.* (2015), demonstram que os solos sob a floresta amazônica possuem um gradiente topográfico com grande potencial para armazenamento de carbono. Nesse sentido, os Latossolos se destacam com os maiores estoques observados. Contudo, tipos de solos como Espodossolos, podem facilmente perder carbono devido sua composição arenosa.

Em geral, são solos ácidos, com baixa CTC (capacidade de troca cátions) e, consequentemente, baixa fertilidade e potencial de produção, que é um fator limitante para a sustentabilidade ambiental e econômica (Madari *et al.* 2011).

Essa elevada acidez (baixos valores de pH) encontrada nos solos da região amazônica, se deve pela elevada perda de bases trocáveis tendo como consequência a concentração de íons H no solo. Dessa forma, suas características se devem ao processo de intemperismo que é influenciado pelas altas temperaturas e por longos períodos de precipitação na região (Reis *et al.* 2009).

Entretanto, em determinadas regiões da Amazônia, existem áreas onde a característica original do solo foi modificada por processos antrópicos, tais solos são conhecidos como terra preta arqueológica (TPA) ou terra preta de índio (TPI), que são encontrados comumente em alguns locais desta paisagem (Kern & Kämpf 1989, Kämpf *et al.* 2003, Costa *et al.* 2004).

Elas são um dos vestígios mais reveladores da atividade pré-colombiana nas florestas interiores. Estes solos antropogênicos foram formados entre 500 e 2500 anos atrás e contêm níveis de nutrientes e matéria orgânica significativamente maiores que os solos amazônicos típicos. As terras pretas indicam assentamentos sedentários ocorrendo na maior parte dos maiores sítios arqueológicos das florestas da Amazônia Central (Figura 1), em Santarém, Marajó e no Alto Xingu (McMichael *et al.* 2014).

Pode-se observar que também foram descritas ocorrências em outras partes da Amazônia como Peru, Colômbia, sul da Venezuela e, com menor densidade nas Guianas (Kern *et al.* 2003). German (2003), afirma que as áreas de ocorrência de TPI se encontram adjacentes aos cursos de água, com dispersão em áreas de várzeas, elevações marginais, expandindo-se

com variação de um a centenas de hectares, ao longo de rios e interflúvios e em localidade com uma posição topográfica que permita ter boa visualização espacial. As estimativas que existem para toda a Amazônia não são precisas e variam em até 10% de sua área total (Mann 2002).

Schmidt *et al.* (2009), discorrem sobre duas hipóteses que são mais aceitas para a formação das TPAs. Uma delas é que sua formação seria não intencional, oriunda da ocupação humana e descarte de lixo, a outra que elas seriam o resultado de práticas de manejo do solo para a agricultura.

Segundo Denevan (2010), deve-se considerar que devido a ineficiência das ferramentas disponíveis para a abertura de florestas (machados de pedra), é provável que fossem adotados métodos de cultivos semipermanentes, com curtos períodos de plantio e de pousio ou abandono do solo. Dessa forma, nesses locais deveriam existir sistemas florestais com o domínio de árvores frutíferas e outras espécies com alguma utilidade. Contudo, para o restabelecimento da fertilidade do solo ainda haveria a dependência da adição de cinzas e o carvão oriundo das queimadas constantes, também de compostagem e cobertura morta.

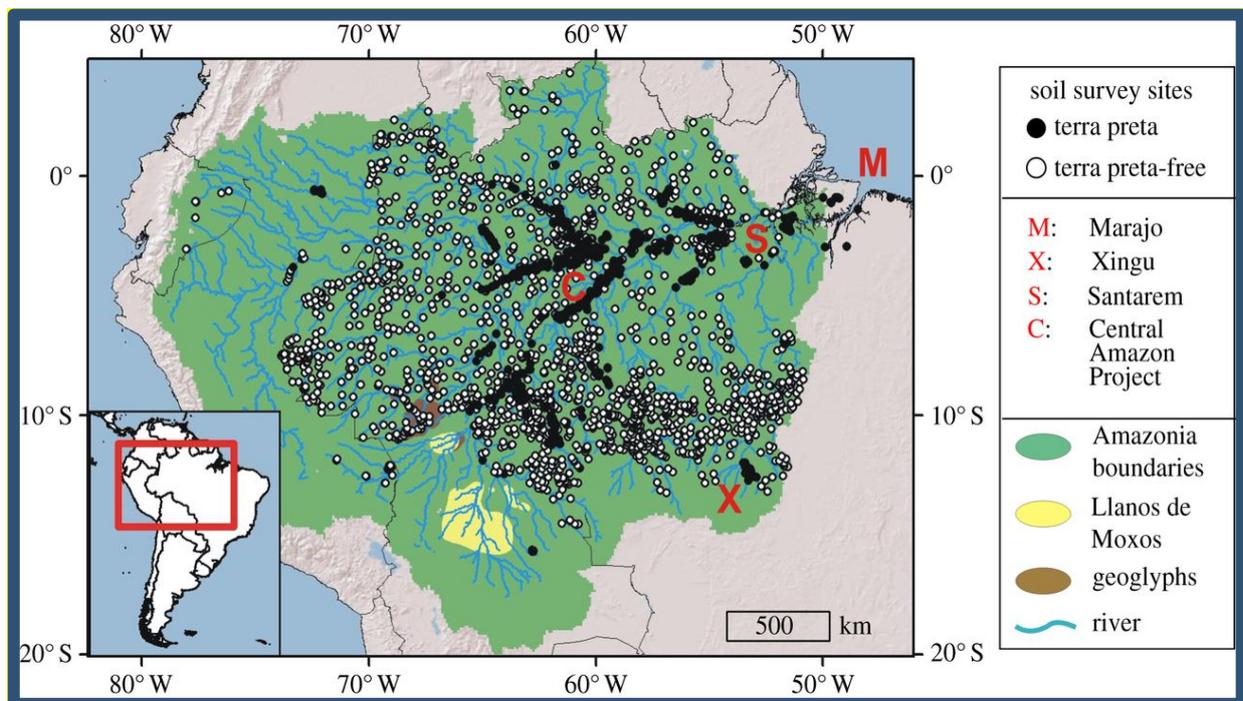


Figura 1: Distribuição das TPAs na Amazônia. Fonte: McMichael *et al.* (2014).

Estudos mais recentes de Peña-Venegas (2016), com comunidades indígenas na Colômbia levantam a hipótese de que a presença de artefatos nas TPAs não são apenas lixo doméstico queimado, mas também dos restos de construções (malocas) intencionalmente destruídas. Assim, os locais de formação das TPAs não foram expostos apenas a pequenas queimadas freqüentes, mas também a grandes queimadas periódicas quando comunidades completas foram destruídas. Essas grandes queimadas permitiram o aporte de grandes quantidades de matéria orgânica no solo (cinzas e carvão) quando comparado a apenas a queima do lixo doméstico alterando assim as condições para a formação das TPAs.

Em relação à gênese das TPAs, Macedo *et al.* (2017) confirmaram o modelo de sedimentação antropogênica com a acumulação e a estabilização da matéria orgânica do solo (MOS). Também foi confirmado o processo de translocação do carvão para horizontes subterâneos contribuindo para seu enriquecimento químico.

Neves Júnior (2008), discorre que a MOS representa toda a fração orgânica que se apresenta na forma de detrito em distintos estágios de decomposição ou fresco, materiais queimados e compostos humificados que estão de forma associada ou não à fração mineral e à uma outra parte que é composta por diversos organismos vivos como por exemplo a fauna edáfica e as raízes vegetais.

Assim, as TPIs representam unidades de solo que têm como características a coloração escura e a presença de fragmentos cerâmicos e, ou, líticos que foram incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo sendo distribuídas em pequenas ou grandes dimensões (1 a 500 ha) (Kämpf & Kern 2005, Macedo *et al.* 2017). Sua elevada fertilidade natural resulta possivelmente de prolongados períodos de ocupação antrópica e constante incorporação de carvão pirogênico (Corrêa 2007).

Glaser (2007), discorre que para essa formação acontecer, é necessário que ocorra o produto de três etapas distintas: formação do carvão - refere-se à formação do carbono pirogênico (Figura 2), que possui sua composição e sua estrutura molecular complexa (grupos aromáticos), é pouco reativo e contribui com a fertilidade do solo; incorporação de nutrientes. Os nutrientes nesta etapa passam a ser incorporados ao solo por fontes diferentes, como por exemplo, fezes de humanos e animais, cinzas, resíduos oriundos da combustão incompleta e carvão, biomassa proveniente de plantas aquáticas e terrestres. E por fim, a ação dos microrganismos – que são os responsáveis pela ciclagem de nutrientes, e agem tanto no processo de decomposição da matéria orgânica como no processo de imobilização de nutrientes do solo, o que evita perdas por lixiviação.

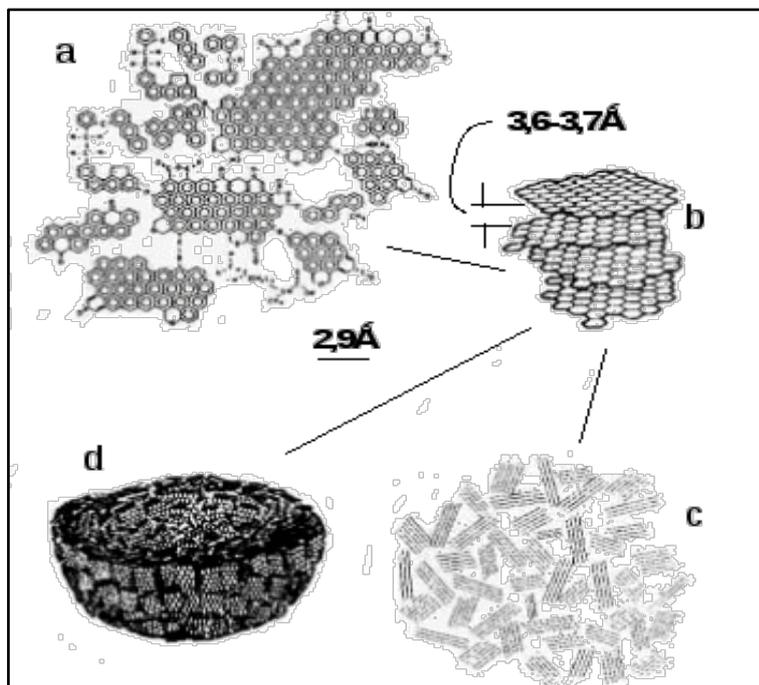


Figura 2: Unidades estruturais básicas e as duas estruturas principais do carbono pirogênico. Fonte: Schmidt & Noack (2000).

Estudos de Birk *et al.* (2011), utilizando biomarcadores (5b-colestan-3b-ol) em TPI quando comparados aos solos de referência, mostraram que fezes foram depositadas nas TPIs e que elas contribuíram para a sua gênese. Este grande aporte de matéria orgânica contribuiu, muito provavelmente, para que houvesse a formação de solos com alta fertilidade e níveis de MOS de origem pirogênica estáveis.

Os valores encontrados de carbono orgânico total (COT) em diversos estudos em localidades diferentes da Amazônia demonstraram valores próximos ou superiores, com a mesma

tendência de diminuição de acordo com a profundidade. Dessa forma, esse significativo acúmulo de matéria orgânica nas TPIs demonstra o quão ricas são essas formações quando comparada a solos não TPIs. (Kern 1988, Kern 1996, Kern & Costa 1997, Costa & Kern 1999, Glaser *et al.* 2000, Lima 2001, Lima *et al.* 2002, Cunha 2005, Liang *et al.* 2006, Soares 2007, Madari *et al.* 2011, Dos Santos 2013, Schmidt 2014).

Marques *et al.* (2015), corroboram que as diversas formas de uso da terra na Amazônia geram influência na distribuição do C nas frações do solo, promovendo mudanças em curto ou longo prazo podendo contribuir para o seu aumento.

As elevadas concentrações COT existentes nas TPIs localizadas em ambientes com alta temperatura e precipitação, podem estar relacionadas à composição da MO (que é rica em carbono pirogênico) e à formação de complexos matéria orgânica-cálcio que demonstram concentrações elevadas ao longo dos perfis. Aliado a isso, têm-se a presença de artefatos cerâmicos que servem como referência para distinção entre formações TPIs e não TPIs. (Embrapa 1999, Kämpf *et al.* 2003, Cunha 2005).

Segundo o estudo de Soares (2007) na Amazônia Central, não foi encontrada nenhuma camada de solo onde a razão C/N se encaixa dentro da faixa que indica estabilidade biológica, C/N = 10 a 12, (Steverson 1982). Assim, têm-se que, o valor da razão C/N em solos não TPIs, se apresenta inferior ao da faixa proposta para a estabilidade biológica, indicando que o processo de mineralização secundária nestes solos é maior. Este fato coloca em evidência que, neste processo, existe baixa resistência das substâncias húmicas, o que sugere maior presença de fragmentos de proteínas de peptídeos corroborando assim com outros estudos que demonstram que, a maior parte da matéria orgânica existente nas TPIs vem de origem pirogênica e não de forma tão acentuada da migração do material vegetal decomposto (Glaser *et al.* 1998, Glaser *et al.* 2001, Cunha 2005).

As substâncias húmicas representam um conjunto de moléculas de massa molar variável, coloração amarelada a preta e solubilidades diferentes dependendo do meio (alcalino ou ácido). São formadas em grande parte através de reações secundárias de síntese, não sendo, portanto, produzidas diretamente por organismos vivos (Madari *et al.* 2009).

Estudos realizados com amostras representativas da região amazônica em Latossolos Antrópicos (TPI's) demonstraram que a maior parte da matéria orgânica é composta pela fração humina, chegando a contribuir com mais de 50% do carbono total nos horizontes superficiais. (Cunha 2005, Soares 2007, Cunha *et al.* 2009). Por terem alta influência sobre o carbono presente nesses horizontes, elas exercem grande influência sobre as características físicas e químicas do mesmo e, como consequência sobre a sua fertilidade (Cunha *et al.* 2007, Madari *et al.* 2009).

Para este tipo de solo geralmente, no processo de humificação, os resíduos vegetais que são depositados na superfície do solo passam por um rápido processo de mineralização o que dá origem a substâncias pré-húmicas que migram facilmente em profundidade. Assim, parte destes produtos dá origem aos ácidos fúlvicos livres e outra aos ácidos húmicos e humina. (Volkoff & Andrade 1976, Volkoff 1978, Volkoff & Cerri 1988, Cunha 2005, Cunha 2007, Soares 2007, Madari *et al.* 2011).

Segundo Soares (2007), a utilização da MOS como indicador de qualidade se justifica pela sua ação relevante sobre a fertilidade dos solos que afeta propriedades químicas, físicas e biológicas. Dessa forma, as frações humificadas representam marcadores químicos estáveis destacando-se os ácidos húmicos que são considerados marcadores naturais do processo de humificação o que pode se traduzir como condição de manejo e formação desses solos.

De forma complementar, Schmidt *et al.* (2014) menciona que, em geral, as TPIs possuem altos índices de P, Ca, Mg, Mn, Zn e outros elementos químicos quando comparado a solos circunvizinhos, ressaltando, no entanto, que estes solos antropogênicos possuem uma grande variabilidade observada mesmo dentro de um único sítio. Isso se dá devido à natureza

de cada atividade cultural desenvolvida, sua intensidade, duração, assim como o papel dos processos naturais e eventos ocorridos após o sítio ser abandonado (Denevan 2009).

Nesse sentido, diversos outros estudos evidenciam a grande variabilidade espacial de carbono e outros elementos químicos dentro de um mesmo sítio onde ocorrem as TPIs (Kern 1988, Kern & Kampf 1989, Kern 1996, Kern & Costa 1997, Costa & Kern 1999, Lima *et al.* 2002, Madari *et al.* 2003, Major *et al.* 2005, Cunha 2005, Soares 2007, Madari *et al.* 2011, Schmidt 2014).

Atualmente, contudo, o aumento da pressão populacional promoveu a expansão da área cultivada através da remoção da vegetação que, aliada à redução do tempo para a regeneração, promove o desequilíbrio e a degradação da manutenção da vida nos sistemas edáficos (Mielniczuk *et al.* 2003, Fearnside 2005).

Teixeira e Martins (2005) descrevem o cultivo de subsistência nos solos de TPIs no estado do Amazonas por agricultores familiares, pelo sistema itinerante de corte e queima. Assim relata-se que a produtividade das TPIs em comparação a solos não TPIs adjacentes é maior, com baixo uso de insumos e tempo de pousio para culturas como mamão, milho, melancia e feijão.

Assim, a influência antrópica nas TPIs no período pós-colombiano tem sido significativa. Dessa forma, o modelo de ocupação humana nos dias de hoje, explora a alta fertilidade das TPIs, por meio de uma agricultura extrativista, onde as culturas implantadas promovem a perda de nutrientes do horizonte A antrópico causando conseqüentemente sua erosão. Outro fato importante é a mineração das terras pretas de índio para venda como “terra de jardim” em centros urbanos. Como conseqüência, tanto as transformações naturais quanto as provocadas pelo homem, vêm ocasionando a alteração e a destruição de diversos registros arqueológicos contidos das TPIs. Essas ações promovem perdas irrecuperáveis tanto do patrimônio cultural como da compreensão do comportamento humano pré-colombiano na Amazônia (Kämpf 2005).

Conclusões

A partir dos dados apresentados avalia-se que a matéria orgânica encontrada de forma estável em diversas localidades da Amazônia possui relevante importância cultural e ambiental e semelhanças entre suas composições apesar da existência de grupos ancestrais distintos e geograficamente distantes.

O teor elevado de matéria orgânica e suas frações húmicas encontrado nos solos arqueológicos quando comparados aos solos não arqueológicos, demonstra que as práticas antigas de manejo foram capazes de sustentar os cultivos de subsistência em solos considerados pobres e com pouca aptidão agrícola.

O papel fundamental da matéria orgânica nas propriedades do solo e na produtividade de diversos sistemas de cultivo demonstra a importância da compreensão de sistemas de manejo que atuem diretamente em sua estabilidade e, ou, promovam o seu incremento.

Não é possível afirmar quais práticas adotadas culminaram na formação das TPIs, os indícios apontam a origem pirogênica da fertilidade encontrada, o que leva à diversas hipóteses que tem como base comum a prática continuada da queima e deposição constantes de resíduos orgânicos nessas localidades. A partir dos estudos apresentados, pode-se afirmar que essas práticas proporcionaram benefícios para a fração orgânica dos solos amazônicos.

A preservação de solos sob a floresta tropical é fundamental para manutenção da matéria orgânica, sendo a conversão de terras para pecuária ou exploração ilegal de madeira, fatores de maior impacto negativo sobre os estoques existentes.

Referências Bibliográficas

- Birk J. J., Teixeira W. G., Neves E. G., Glaser B. (2011) Faeces deposition on Amazonian Anthrosols as assessed from $\delta^{15}\text{N}$ -stanols. *Journal of Archaeological Science*, v. 38, n. 6, p. 1209-1220. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440310004528>. Acessado em 17 de janeiro de 2017.
- Corrêa G.R. (2007) Caracterização pedológica de arqueopossolos no Brasil: Sambaquis da Região dos Lagos (RJ) e Terras pretas de índio na região do baixo rio Negro/Solimões (AM). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa. Disponível: <http://alexandria.cpd.ufv.br:8000/teses/solos%20e%20nutricao%20de%20plantas/2007/205855f.pdf>. Acessado em 26 de janeiro de 2017.
- Costa M. L.; Kern D. C.; Pinto A. H. E.; Souza J. R.T. (2004) The ceramic artifacts in archaeological black earth (terra preta) from Lower Amazon Region, Brazil: chemistry and geochemical evolution. *Acta Amazonica*. v. 34, p. 375-386. Disponível: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S00449672004000300004&script=sci_arttext&tlng=pt. Acessado em 28 de janeiro de 2017.
- Cunha T. J. F.; Madari B. E.; Canellas L. P.; Ribeiro L. P.; Benites V.M.; Santos G. A. (2009) Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (terra preta de índio) in the Brazilian Amazon basin. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, p.85-93. Disponível: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832009000100009&script=sci_arttext&tlng=ES. Acessado em 28 de janeiro de 2017.
- Cunha T.J.F. (2005) Ácidos húmicos de solos escuros da Amazônia (Terra preta de índio). Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Disponível: <http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&id=155467&biblioteca=vazio&busca=autoria:%22CUNHA,%20T.%20J.%20F.%22&qFacets=autoria:%22CUNHA,%20T.%20J.%20F.%22&sort=&paginaAtual=1>. Acessado em 29 de janeiro de 2017.
- Denevan W. (2010) As origens agrícolas da terra mulata na Amazônia. In: Teixeira *et al.* As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental. 421 p.
- Denevan W. M. (2009). As Origens Agrícolas da Terra Mulata na Amazônia. In: Teixeira, W.G.; Kern, D.C. Madari, B.; Lima, H.N.; Woods, W. As terras pretas de índio da Amazônia: Sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas. Embrapa Amazônia Ocidental, Manaus, AM, 358 p. pp: 82-86.
- Dos Santos L. A. C. *et al.* (2013) Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, p. 825-836.
- Fearnside P. M. (2005) Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences. *Conservation biology*, v. 19, n. 3, p. 680-688. Disponível: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2005.00697.x/full>. Acessado em 30 de janeiro de 2017.
- Fischer D.; Glaser B. (2012) Synergisms between compost and biochar for sustainable soil amelioration. Rijeka: INTECH Open Access Publisher. Disponível: <http://cdn.intechweb.org/pdfs/27163.pdf>. Acessado em 5 de fevereiro de 2017.
- German L. A. (2003) Historical contingencies in the coevolution of environment and livelihood: contributions to the debate on Amazonian Black Earth. *Geoderma*. v. 111, p. 307-331. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016706102002707>. Acessado em 6 de fevereiro de 2017.
- Glaser B. (2007) Prehistorically modified soils of central Amazonia: a model for sustainable agriculture in the twenty-first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 362, n. 1478, p. 187-196. Disponível: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/362/1478/187.short>. Acessado em 5 de fevereiro de 2017.
- Glaser B.; Birk J. J. (2012) State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de Índio). *Geochimica et Cosmochimica acta*, v. 82, p. 39-51. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001670371100144X>. Acessado em 5 de fevereiro de 2017.
- Kämpf N. *et al.* (2003) Classification of Amazonian Dark Earths and other ancient anthropic soils. In: *Amazonian Dark Earths*. Springer Netherlands. p. 77-102. Disponível: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F1-4020-2597-1_5. Acessado em 30 de janeiro de 2017.
- Kämpf N.; Kern D. C. (2005) Ação Antrópica e Pedogênese em Solos com Terra Preta em Cachoeira-Porteira, Pará. Disponível: <http://repositorio.museu-goeldi.br:8080/handle/mgoeldi/474>. Acessado em 30 de janeiro de 2017.
- Kämpf N.; Kern D.C. (2005) O solo como registro da ocupação humana pré-histórica na Amazônia. In: Vidaltorradó P.; Alleoni L.R.F.; Cooper M.; Silva A.P. & Cardoso E.J. Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p.277-320. Disponível: <http://rosaluxspba.org/wp-content/uploads/2015/10/Dados-TPA-Top-V4-N7.pdf>. Acessado em 3 de fevereiro de 2017.
- Kern D. C. *et al.* (2003) Distribution of Amazonian dark earths in the Brazilian Amazon. In: *Amazonian Dark Earths*. Springer Netherlands. p. 51-75. Disponível: http://link.springer.com/chapter/10.1007/1-4020-2597-1_4. Acessado em 5 de fevereiro de 2017.
- Kern D. C.; Kämpf N. (1989) Antigos assentamentos indígenas na formação de solos com terra preta arqueológica na região de Oriximiná, Pará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 13, p. 219-225. Disponível: https://www.researchgate.net/publication/281595655_Antigos_assentamentos_indigenas_na_formacao_de_solos_com_Terra_Preta_Arqueologica_na_regiao_de_Oriximina_Para. Acessado em 3 de fevereiro de 2017.

- Lima H. N.; Mello J. W. V.; Schaefer C. E. G. R.; Ker J. C.; Lima A. M. N. (2006) Mineralogia e química de três solos de uma topossequência da Bacia Sedimentar do Alto Solimões, Amazônia Ocidental. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.30, p. 59-68.
- Macedo R. S., Teixeira W. G., Corrêa M. M., Martins G. C., & Vidal-Torrado P. (2017). Pedogenetic processes in anthrosols with pretic horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil. *PloS one*, v. 12, n. 5, p. e0178038.
- Madari B. E., Cunha T. J. F., Novotny E. H., Milori D. M. B. P., Martin Neto L., Benites V. D. M., & Santos, G. A. (2009). Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. p. 172-188.
- Madari B.; Cunha T. J. F.; Soares R. (2011) Organic matter of the anthropogenic dark earths of Amazonia. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, v. 5, p. 21-28. Disponível: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/915026/1/Tony2011.pdf>. Acessado em 5 de fevereiro de 2017.
- Mann, C. C. (2002) The real dirt on rainforest fertility. *Science*, v. 297, n. 5583, p. 920-923. Disponível: <http://science.sciencemag.org/content/297/5583/920>. Acessado em 30 de janeiro de 2017.
- Marques J. D. D. O., Luizão F. J., Teixeira W. G., Sarrazin M., Ferreira S. J. F., Beldini T. P., & Marques E. M. D. A. (2015). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 39, n. 1, p. 232-242.
- Marques J. D. D. O., Luizão F. J., Teixeira W. G., Vitel C. M., & Marques E. M. D. A. (2016). Soil Organic Carbon, Carbon Stock and Their Relationships to Physical Attributes Under Forest Soils in Central Amazonia. *Revista árvore*, v. 40, n. 2, p. 197-208
- McMichael C. H., Palace M. W., Bush M. B., Braswell B., Hagen S., Neves E. G., & Czarnecki C. (2014). Predicting pre-Columbian anthropogenic soils in Amazonia. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, v. 281, n. 1777, p. 9. Disponível: <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/281/1777/20132475.short>. Acessado em 30 de janeiro de 2017.
- Mielniczuk J.; Bayer C.; Vezzani F.M.; Lovato T.; Fernandes F.F. & Debarba L. Manejo de solo e culturas e sua relação com os estoques de carbono e nitrogênio do solo. In: Curi N.; Marques J.J.; Guilherme L.R.G.; Lima J.M.; Lopes A.S. & Alvarez V., V.H. Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3. p.209-248
- Neves Júnior A. F. (2008) Qualidade física de solos com horizonte antrópico (Terra Preta de Índio) na Amazônia Central. Tese de Doutorado Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Disponível: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-28072008-155658/en.php>. Acessado em 30 de janeiro de 2017.
- Peña-Venegas C. P. *et al.* Peña-Venegas C. P., Stomph T., Verschoor G., Echeverri J. A., & Struik P. C. (2016). Classification and use of natural and anthropogenic soils by indigenous communities of the upper Amazon region of Colombia *Human Ecology*, v. 44, n. 1, p. 1-15. Disponível: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10745-015-9793-6>. Acessado em 30 de janeiro de 2017.
- Reis M. S.; Fernandes A. R.; Grimaldi C.; Desjardins T.; Grimaldi M. (2009) Características químicas dos solos de uma topossequência sob pastagem em uma frente pioneira da Amazônia Oriental. *Revista de Ciências Agrárias*, n. 52, p. 37-47. Disponível: http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-11/010065796.pdf. Acessado em 26 de janeiro de 2017.
- Schmidt M. J., Py-Daniel A. R., de Paula Moraes C., Valle R. B., Caromano C. F., Texeira W. G. & e Silva R. D. S. (2014). Dark earths and the human built landscape in Amazonia: a widespread pattern of anthrosol formation. *Journal of archaeological science*, v. 42, p. 152-165. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305440313003889>. Acessado em 26 de janeiro de 2017.
- Schmidt M. W.; Noack A. G. (2000) Black carbon in soils and sediments: analysis, distribution, implications, and current challenges. *Global biogeochemical cycles*, v. 14, n. 3, p. 777-793. Disponível: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/1999GB001208/full>. Acessado em 26 de janeiro de 2017.
- Soares, R. (2007) Agregação e distribuição da matéria orgânica em solos de Terra Preta de Índio da Amazônia Central. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense. 107 p.
- Teixeira W. G., Martins G. C (2005) Caracterização de Terras Pretas de Índio no médio rio Urubu - Município de Rio Preto da Eva - AM In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Solos, sustentabilidade e qualidade ambiental.
- Trumper K., Bertzky M., Dickson B., van der Heijden G., Jenkins M., Manning P. (2009) The Natural Fix?: The Role of Ecosystems in Climate Mitigation: a UNEP Rapid Response Assessment. UNEP/Earthprint. 59 p.
- Wiedner K., Schneeweiß J., Dippold M. A., & Glaser B. (2015). Anthropogenic dark earth in Northern Germany—the Nordic Analogue to terra preta de Índio in Amazonia. *Catena*, v. 132, p. 114-125. Disponível: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0341816214003075> Acessado em 26 de janeiro de 2017.