

## Artigo

**O Papel das Terras Pretas de Índio no Antropoceno**

Soares, R.; Maddock, J. E. L.; Campos, D. V. B.; Madari, B. E.;

Machado, P. L. O. A.; Santelli, R. E.\*

*Rev. Virtual Quim.*, 2018, 10 (6), 1659-1692. Data de publicação na Web: 28 de dezembro de 2018<http://rvq.sbg.org.br>**The Role of *Terras Pretas de Índio* on Anthropocene**

**Abstract:** The soils of the Amazon Region are usually highly weathered and not very fertile. However, in this same region are archeological soils called Amazonian Dark Earth, that have high concentrations of mineral nutrients and stable organic matter. Recently, Certini and Scalenghe proposed that the Anthropocene would have started in 2000 years BP, based on the use of anthropic soils such as Anthropocene Golden Spikes, especially the Amazonian Dark Earth. This study aims to compare the characteristics of Amazonian Dark Earth and Acrisols typical of Central Amazonia and to evaluate the role of these archaeological soils in issues related to the Anthropocene. Although all soils have been recognized as dystrophic, the Amazonian Dark Earth reflect their more complex pedogenesis, in which natural and anthropic processes act together, unlike the Acrisols. In the Anthropocene, Amazonian Dark Earth can be considered as excellent environmental markers indicating the onset and long-term extension of pre-Colombian human activities in the Amazon Region, but lack the stratigraphic characteristics necessary to be considered as adequate Golden Anthropocene Spikes.

**Keywords:** Amazonian dark earth; anthropocene golden spike; anthropic soils; black carbon.

**Resumo**

Os solos da Região Amazônica costumam ser altamente intemperizados e pouco férteis. Contudo, nesta mesma região são encontrados solos arqueológicos denominados Terra Preta de Índio, que possuem elevadas concentrações de nutrientes minerais e matéria orgânica estável. Recentemente, Certini e Scalenghe propuseram que o Antropoceno teria começado em 2000 anos BP, tendo como base o uso de solos antrópicos como *Golden Spikes* do Antropoceno, com especial destaque para as Terras Pretas de Índio. Este estudo tem como objetivo comparar as características de Terras Pretas de Índio e Argissolos típicos da Amazônia Central e avaliar o papel destes solos arqueológicos nas questões pertinentes ao Antropoceno. Embora todos os solos tenham sido reconhecidos como distróficos as Terras Pretas de Índio refletiram à sua pedogênese mais complexa, na qual processos naturais e antrópicos agem conjuntamente, ao contrário dos Argissolos. No âmbito do Antropoceno, as Terras Pretas de Índio podem ser consideradas como excelentes marcadores ambientais que indicam o início e a extensão de longa duração das atividades humanas pré-Colombianas na Região Amazônica, mas não possuem a características estratigráficas necessárias para serem consideradas como adequados *Golden Spikes* do Antropoceno.

**Palavras-chave:** Terra preta de Índio; golden spike do antropoceno; solos antrópicos; carbono pirogênico.

\* Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Química Analítica, Av. Athos da Silveira Ramos, 149. Centro de Tecnologia, Bloco A, CEP: 21941-909, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

✉ [resantelli@globocom](mailto:resantelli@globocom)

DOI: [10.21577/1984-6835.20180113](https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180113)

## O Papel das Terras Pretas de Índio no Antropoceno

Ricardo Soares,<sup>a,b</sup> John E. L. Maddock,<sup>b</sup> David V. B. Campos,<sup>c</sup>

Beata E. Madari,<sup>d</sup> Pedro Luíz de O. A. Machado,<sup>d</sup> Ricardo E. Santelli<sup>e,\*</sup>

<sup>a</sup>Instituto Estadual do Ambiente, Avenida Venezuela nº 110; CEP 20081-312, Saúde, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

<sup>b</sup>Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geoquímica, Outeiro de São João Batista s/nº, Campus do Valonguinho, CEP 24020-150, Centro, Niterói-RJ, Brasil.

<sup>c</sup>Embrapa Solos, Rua Jardim Botânico 1024, CEP 22460-000, Jardim Botânico, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

<sup>d</sup>Embrapa Arroz e Feijão, Rodovia GO-462, km 12, Fazenda Capivara, Zona Rural, Caixa Postal 179, CEP 75375-000, Santo Antônio de Goiás-GO, Brasil.

<sup>e</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Química Analítica, Av. Athos da Silveira Ramos, 149. Centro de Tecnologia, Bloco A, CEP: 21941-909, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro-RJ, Brasil.

\* [resantelli@globocom](mailto:resantelli@globocom)

*Recebido em 17 de dezembro de 2018. Aceito para publicação em 17 de dezembro de 2018*

### 1. Introdução

- 1.1. As Terras Pretas de Índio
- 1.2. O Antropoceno
- 1.3. As Terras Pretas de Índio como *golden spikes* do Antropoceno

### 2. Material e Métodos

- 2.1. Descrição das áreas de estudo
- 2.2. Coleta e tratamento de amostras
- 2.3. Determinação dos indicadores da qualidade do solo

### 3. Resultados e Discussão

- 3.1. Atributos morfológicos dos horizontes dos solos
- 3.2. Atributos físicos dos solos
- 3.3. Atributos químicos dos solos
- 3.4. A importância do entendimento dos processos pedogênicos e antrópicos na formação das Terras Pretas de Índio
- 3.5. Classificação dos solos
- 3.6. Seriam as Terras Pretas de Índio adequadas *golden spikes* do Antropoceno?

### 4. Conclusões

## 1. Introdução

### 1.1. As Terras Pretas de Índio

Geralmente, os solos agricultáveis predominantes da Região Amazônica são muito intemperizados e pertencem majoritariamente às ordens dos Latossolos e Argissolos, que são caracterizados por: elevada acidez, alta saturação de alumínio, altas concentrações de óxidos e hidróxidos de ferro/alumínio, predomínio de minerais de argila de baixa atividade, baixos teores de nutrientes, baixas fertilidades e capacidade de troca catiônica (CTC) bastante reduzida.<sup>1-17</sup> Logo, o solo é um importante fator limitante para a produtividade econômica e a sustentabilidade ambiental dos sistemas agrícolas desta região.

Contudo, nesta mesma região ocorrem solos altamente férteis com horizontes superficiais de coloração escura contendo resquícios arqueológicos de artefatos indígenas (fragmentos de materiais cerâmicos e/ou líticos), assim como carvão de origem pirogênica resultante da combustão incompleta da biomassa acima de 600 °

C, cuja oxidação parcial produz grupamentos carboxílicos que contribuem para o acréscimo da CTC, com aumento em longo prazo nos níveis de nutrientes.<sup>1-7,11-24</sup> Estes solos são denominados Terra Preta de Índio (TPI) - ou terra preta arqueológica/antropogênica, geralmente com elevados teores de nutrientes inorgânicos (P, Ca, Mg, Zn e Mn) e matéria orgânica estável, além de possuírem maior atividade biológica, quando comparados aos solos adjacentes ou típicos da Amazônia.<sup>1-10,14-27</sup> As TPI cobrem uma área de aproximadamente 18.000 km<sup>2</sup> e são encontradas em diversos tipos de classes de solos amazônicos, tais como Latossolos, Argissolos, Cambissolos, Plintossolos e Nitossolos, principalmente sob floresta e próximas a grandes corpos hídricos (Figura 1).<sup>4,12,16,17,22,25-27</sup>

Por mais de um século a comunidade científica internacional tem elaborado

diversas especulações e teorias sobre a origem e os processos de formação das TPI. Entretanto, a hipótese mais aceita, no atual momento, é que estes solos são de origem antropogênica, como resultado da ocupação e manejo pelo homem pré-Colombiano, embora não se saiba se de maneira intencional ou não (Figura 2).<sup>1-7,19</sup>

### 1.2. O Antropoceno

O termo Antropoceno é uma combinação etimológica contemporânea de raízes de palavras de origem grega, sendo antropo significando “humano” e ceno a palavra para “novo”.<sup>28,29</sup> Segundo Silva e Arbilla,<sup>30</sup> este termo foi cunhado originalmente pelo biólogo norte-americano Eugene F. Stoermer na década de 1980,<sup>28-30</sup> mas só foi popularizado quando o químico holandês Paul Crutzen, laureado pelo prêmio Nobel de Química em 1995, assinou em coautoria com Stoermer o histórico artigo “The Anthropocene” na *Newsletter* do *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP).<sup>30-32</sup> Neste artigo os autores elaboraram a hipótese que a atual “época geológica”, o Antropoceno, seria resultado direto das mudanças ambientais globais proporcionadas pelas ações do homem (“A era do Homem”), a partir do início da revolução industrial, na segunda metade do século XVIII.<sup>30-34</sup> Logo, a humanidade teria se convertido em uma poderosa força geológica, sem precedentes, capaz de alterar irreversivelmente o futuro do planeta.<sup>30,33,34</sup>

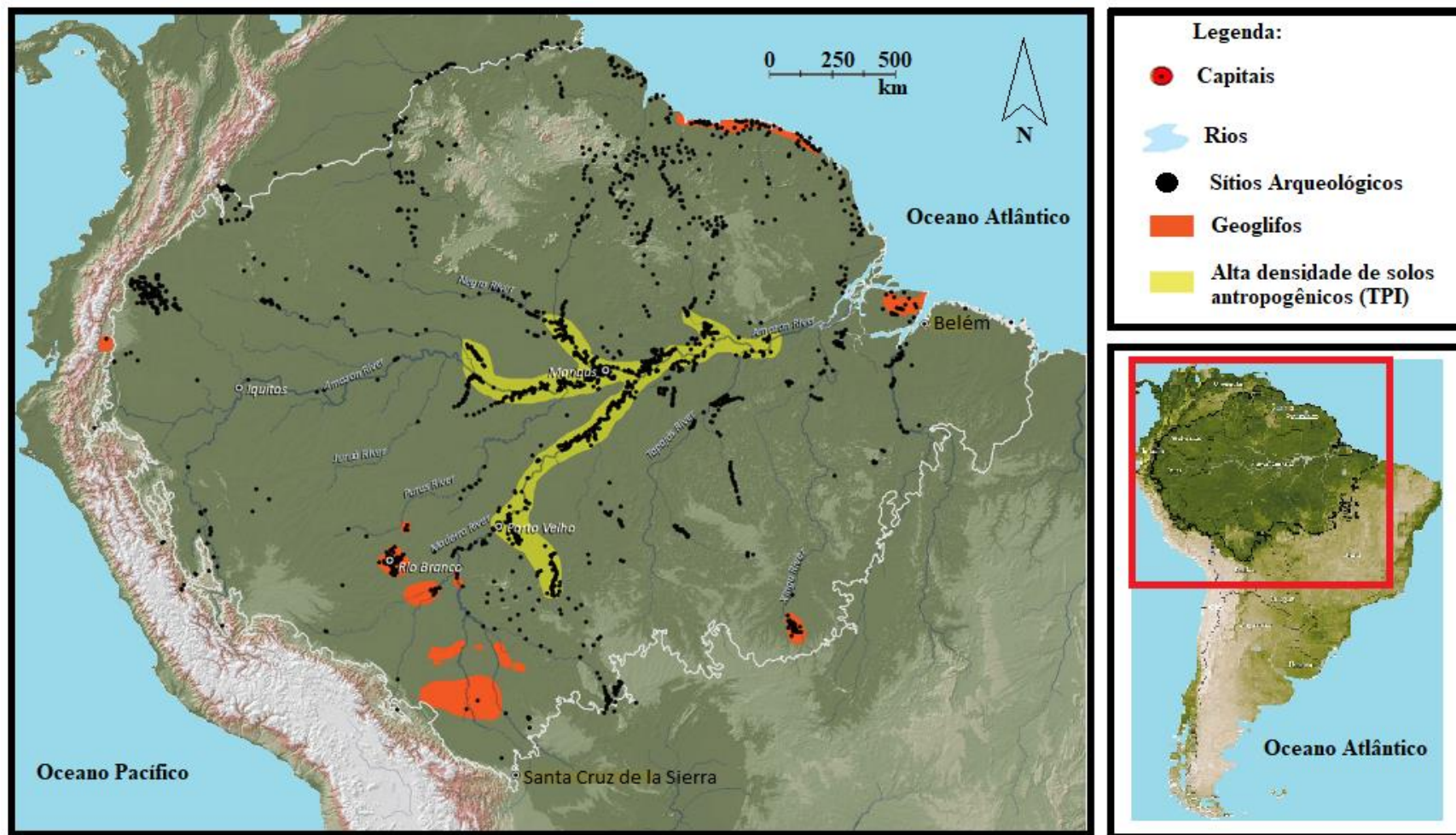


Figura 1. Localização geográfica de sítios arqueológicos e áreas de Terra Preta de Índio na Região Amazônica. Adaptado de Clement e colaboradores<sup>27</sup>



**Figura 2.** Perfil de Terra Preta de Índio na propriedade Roda de Fogo (Rio Preto da Eva, AM). A formação do solo foi iniciada há aproximadamente 2000 anos BP (*Before Present* - antes do presente),<sup>4</sup> a presença de cacos cerâmicos e fragmentos de carvão são evidências do papel humano em sua pedogênese

Embora o conceito do Antropoceno seja amplamente utilizado mundialmente, ainda não existe um consenso da comunidade científica internacional sobre o seu início, mesmo tendo Crutzen e Stoermer sugerido a origem deste novo intervalo de tempo geológico (ITG) sendo sincrônico ao advento dos motores a vapor no final do século XVIII.<sup>29-38</sup> Entretanto, alguns autores apoiam a hipótese do Antropoceno precoce, datada de muitos milênios atrás, baseada principalmente na elevação das concentrações atmosféricas dos gases de efeito estufa (GEE) CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, anteriormente à Revolução Industrial e devido principalmente ao desmatamento e à evolução da agricultura.<sup>29-31,38-40</sup> Por outro lado, outros autores situam como fator determinante o final do último período glacial que teria permitido o significativo aumento populacional humano e seu papel como força

geológica durante a maior parte do Holoceno, e, portanto, propõem uma sobreposição do Antropoceno com o Holoceno,<sup>29-31,38-40</sup> hipótese esta possivelmente descartada em julho de 2018 quando foi anunciada a subdivisão formal do Holoceno em *Greenlandian, Northgrippian e Meghalayan*.<sup>41</sup> Consequentemente, a “data de nascimento” do Antropoceno só será formalizada quando a Comissão Internacional de Estratigrafia definir uma Seção de Estratificação de Limite Global e Ponto (*GSSP - Global Boundary Stratotype Section and Point*) e indicar um *golden spike* para a base do Antropoceno (Figura 3).

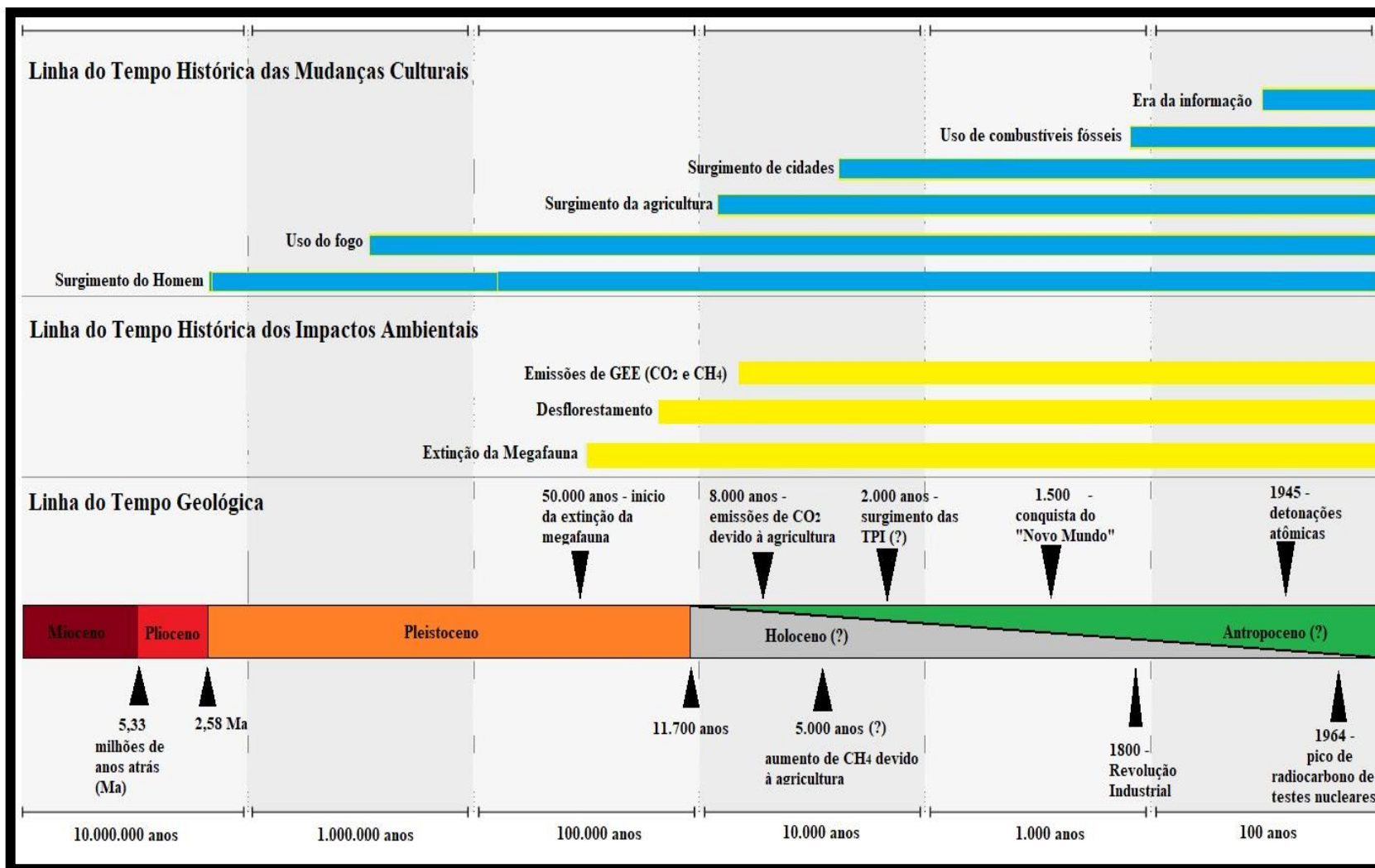


Figura 3. Diferentes propostas para o início formal do Antropoceno. Adaptado de Ellis e colaboradores<sup>39</sup>

### 1.3. As Terras Pretas de Índio como *golden spikes* do Antropoceno

Em 2011, os cientistas do solo italianos Giacomo Certini e Riccardo Scalenghe questionaram a origem deste novo ITG no século XVIII e rejeitaram veementemente a hipótese levantada por Crutzen e Stoermer que o aumento das concentrações de GEE associados sincronicamente à Revolução Industrial seriam os marcadores mais apropriados para o início do Antropoceno.<sup>28-31,34-36,41</sup> Inclusive, argumentaram que mudanças na composição atmosférica seriam um critério inadequado para definir a origem do Antropoceno, pois as concentrações de GEE não seriam capazes de “[...] refletir a extensão dos impactos humanos na totalidade do meio ambiente ao redor da superfície da Terra” e porque bolhas de ar, contendo GEE,<sup>28</sup> nas camadas superficiais dos registros geológicos de gelo podem deixar de existir por conta do aquecimento climático global atual ou futuro.<sup>28,31,34-36</sup> Ademais, ao rejeitarem a composição atmosférica como marcador propuseram a polêmica hipótese de usar solos antropogênicos como *golden spikes* ou GSSP (Seção de Estratificação de Limite Global e Ponto) para assinalar o início do Antropoceno.<sup>29,34,41</sup>

Segundo estes autores, a escolha por solos antropogênicos se deve por serem marcadamente afetados por atividades humanas, tais como: arações periódicas, repetidas lavouras, adição de fertilizantes naturais, serem alvos de contaminação, selamento superficial ou enriquecimento com artefatos. Além disso, os solos antropogênicos possuem a vantagem de seguirem critérios estratigráficos para tais marcadores geológicos de fronteira, pois fornecem permanentes e claros registros do passado sobre intervenções antrópicas no meio ambiente.<sup>29,34</sup> Logo, a pedosfera se

configuraria o melhor registrador das atividades induzidas pelos seres humanos na totalidade do meio ambiente e indicaria o Antropoceno iniciando a cerca de 2000 anos BP (2000 anos *before present* - antes do presente) quando a superfície do planeta foi alterada significativamente pelo surgimento das civilizações antigas.<sup>29,34</sup>

Dentre vários exemplos de solos antropogênicos fornecidos pelos autores, que poderiam ser candidatos a *golden spikes* do Antropoceno, foi dado especial destaque às Terras Pretas de Índio devido à atividade humana pré-Colombiana ter sido o principal fator determinante para o desenvolvimento de sua morfologia e propriedades pedológicas/pedogeoquímicas (Figura 2).<sup>29</sup> Contudo, a hipótese do uso de solos antropogênicos como *golden spikes* ou GSSP do Antropoceno ainda não obteve um consenso e foi contestada pela alegação que os solos modernos são produtos do contínuo desenvolvimento de solos superficiais antropogênicos, que iniciaram sua pedogênese no início do Antropoceno precoce, e por isso possuíam baixo valor estratigráfico.<sup>36</sup> Além disso, alega-se que as TPI, embora tenham sido originadas em tempos pré-coloniais, ainda são intensamente cultivadas em alguns lugares pela população local, o que dificultaria o seu emprego como marcador do Antropoceno (Figura 4).<sup>36</sup>

Mediante tudo o que foi exposto anteriormente, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características morfológicas, físicas e química de Terras Pretas de Índio localizadas em um sítio arqueológico no estado do Amazonas que as tornariam elegíveis como potenciais *golden spikes* do início do Antropoceno e comparar estas características com as de outros solos típicos da Amazônia Central. Além disso, pretende-se avaliar qual é o real papel das Terras Pretas de Índio nas questões pertinentes ao Antropoceno.



**Figura 4.** 4a. Solo de Terra Preta de Índio sendo cultivado com grama esmeralda para exportação. 4b. Placas de grama contendo Terra Preta de Índio em suas raízes.

## 2. Material e Métodos

### 2.1. Descrição das áreas de estudo

As TPI e os solos não antrópicos (SNA) avaliados neste estudo estão distribuídos entre os municípios de Rio Preto da Eva, Humaitá, Novo Aripuanã e Apuí, todos pertencentes ao estado do Amazonas, Brasil (Tabela 1 e Figura 5). Além disso, as áreas de TPI (P01 e P02) situam-se em solos sob florestas secundárias, cujas idades contabilizam entre 10 e 20 anos de pousio, respectivamente. Também, as demais áreas SNA (P03, P04 e P05) situam-se em solos sob florestas secundárias, sem que haja registro cronológico dos tempos de pousio das mesmas.

Estas áreas estão inseridas no domínio climático do tipo tropical quente e úmido, Am (chuvas do tipo monção) segundo classificação de Köppen, caracterizado por apresentar um período seco de curta duração, com precipitações pluviais entre 2.250 e 2.750 mm, temperaturas médias anuais variando entre 25 e 27 °C e umidade relativa do ar entre 85 e 90 %.<sup>6,19,20,42,43</sup> A vegetação característica dessa região é a Floresta Tropical Densa, constituída por árvores adensadas e

multiestratificadas com 20 a 50 m de altura, com clima úmido, elevadas temperaturas e alta precipitação.<sup>6,19,20</sup>

Os solos encontrados no município de Rio Preto da Eva são desenvolvidos a partir de arenitos e siltitos da Formação Alter do Chão; os dos municípios de Humaitá e Novo Aripuanã são desenvolvidos a partir de argilitos e siltitos da Formação Solimões, enquanto os solos encontrados no município de Apuí são originados a partir de arenitos da Formação Beneficente.<sup>45</sup>

### 2.2. Coleta e tratamento de amostras

Foram abertas trincheiras nestas áreas, sendo os diferentes perfis dos solos caracterizados morfologicamente e as amostras dos seus respectivos horizontes (camadas) coletadas conforme preconizado por Santos e colaboradores para obtenção de análises físicas e químicas.<sup>46</sup> Além disso, os solos foram classificados segundo os critérios especificados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).<sup>47</sup> Assim como amplamente preconizado em estudos que envolvam amostragem de solos arqueológicos, todo o material foi coletado,



incluindo carvões, fragmentos cerâmicos e material lítico.<sup>17,20,48</sup> Posteriormente, as amostras de solo foram secas em estufa com circulação de ar forçada, à temperatura de 40 °C, destorroadas, tamisadas em peneira de 2,0 mm, recolhendo-se as frações dos solos não retidas na peneira, constituindo-se assim terra fina seca ao ar (TFSA).<sup>48</sup>

### 2.3. Determinação dos indicadores da qualidade do solo

Foram realizadas análises físicas e químicas de fertilidade do solo em todos os horizontes estudados conforme preconizado pelo “Manual de métodos de análise de solo” da Embrapa.<sup>48</sup>

#### 2.3.1. Determinação dos parâmetros físicos

Separaram-se as partículas tendo como base as diferentes velocidades de queda das partes constituintes do solo: areia, silte e argila. Fixou-se um tempo para a sedimentação na suspensão do solo com água, após adição do dispersante químico, hidróxido de sódio. Pipetou-se um volume da suspensão, para determinar argila, que uma vez seca em estufa, foi pesada. As frações grosseiras (areia fina e areia grossa) foram separadas por peneiração, secas em estufas e pesadas. O silte corresponde ao complemento dos percentuais para se atingir 100 %, foi obtido por diferença das outras frações em relação à amostra original.<sup>48</sup> Também, foi determinada a argila dispersa em água e determinado o grau de flocculação.<sup>48</sup>

A densidade do solo foi obtida pelo método do anel de Kopecky (anel volumétrico) e a de partículas do solo, pelo método do balão volumétrico.<sup>48</sup> A porosidade total foi calculada a partir dos dados das densidades do solo e de partículas, pela seguinte equação:

$$Pt = 100 (1 - Ds/Dp) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

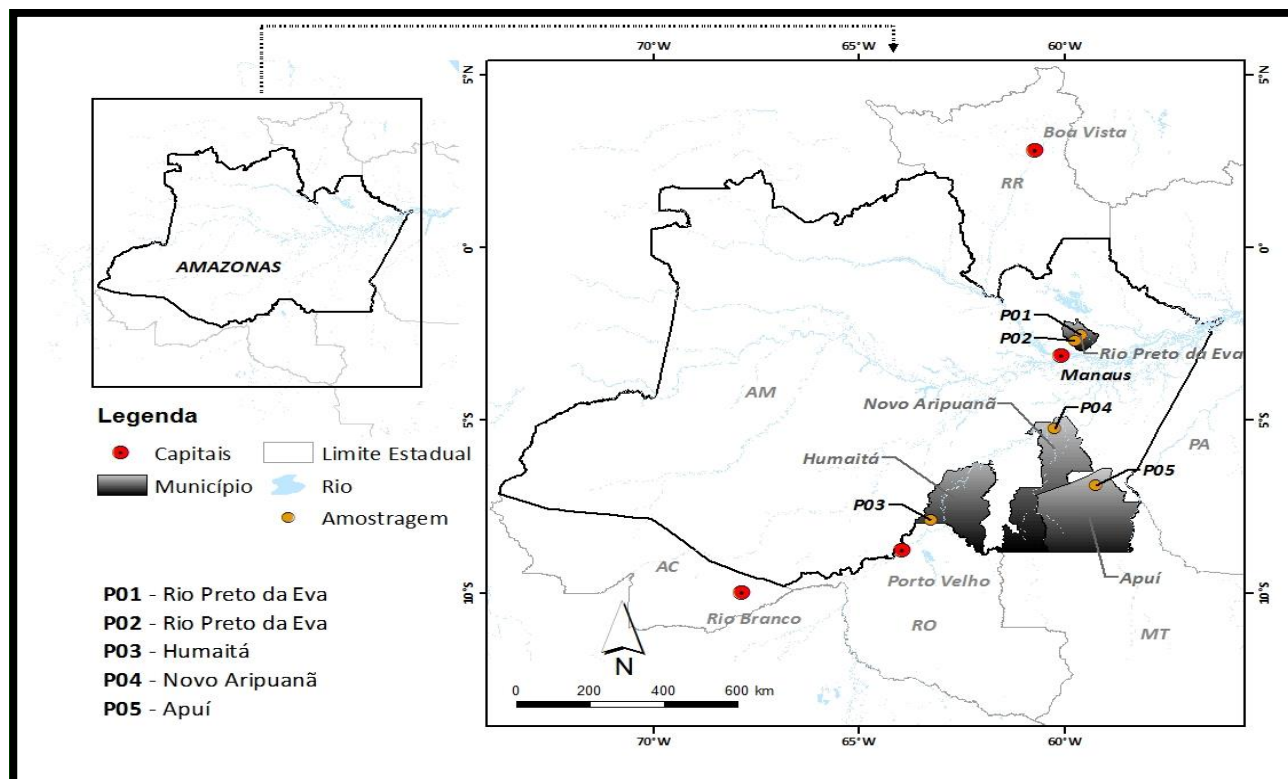
Pt = porosidade total;

Ds = densidade do solo;

Dp = densidade das partículas

**Tabela 1.** Localização georreferenciada dos perfis de solo sob florestas secundárias avaliados neste estudo

| Perfil | Município        | Coordenadas   |                |
|--------|------------------|---------------|----------------|
| P01    | Rio Preto da Eva | S 2°40'51,8"  | W 59°43'15,7"  |
| P02    | Rio Preto da Eva | S 2°40'52,37" | W 59°43'16,48" |
| P03    | Humaitá          | S 7°52'50,6"  | W 63°14'57,4"  |
| P04    | Novo Aripuanã    | S 5°13'27,1"  | W 60°14'2,0"   |
| P05    | Apuí             | S 6°52'38,8"  | W 59°13'31,8"  |



**Figura 5.** Localização georreferenciada das TPI e dos SNA sob florestas secundárias avaliados com os respectivos códigos dos perfis. Nestas localidades predominam no relevo a presença de platôs, nas partes mais elevadas, combinado com áreas rebaixadas de sopé. Os platôs possuem superfícies topográficas planas, a zona de borda é marcada por colinas e cristas alinhadas, enquanto as áreas de planícies têm características de superfície pediplanada, localmente interrompida por colinas de topo plano<sup>6,19,44</sup>

### 2.3.2. Determinação dos parâmetros químicos

Os cátions trocáveis  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ ; assim como o P disponível e a acidez potencial ( $\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ) foram extraídos conforme Embrapa e determinados por ICP OES.<sup>48-52</sup> Uma vez tendo os resultados das análises químicas foram calculadas as somas das bases trocáveis (S), capacidades de troca catiônica (T), saturações por bases (V) e a saturações por alumínio trocável (m) conforme preconizado por Embrapa.<sup>48</sup>

O pH ( $\text{H}_2\text{O}$  e KCl) foi determinado potenciométricamente utilizando-se a proporção sólido:líquido 1:2,5 (m/v).<sup>48</sup> O carbono orgânico total (COT) foi obtido utilizando-se o método de oxidação por via úmida com aquecimento externo, pelo método Embrapa e as concentrações de nitrogênio total (N) foram determinadas pelo método Kjeldahl por destilação a vapor.<sup>48</sup>

Nas amostras de solos os elementos Al, Fe e Ti foram extraídos por digestão ácida com  $\text{H}_2\text{SO}_4$  na proporção líquido:líquido 1:1 (v/v) e o Si por posterior dissolução alcalina.<sup>48</sup> Os resultados foram expressos na forma dos respectivos óxidos ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$  e  $\text{SiO}_2$ ). Tendo os resultados das análises dos óxidos foram calculados os índices de intemperismo (Ki) e (Kr) conforme preconizado por Embrapa.<sup>48</sup>

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Atributos morfológicos dos horizontes dos solos

Como era de se esperar, todas as áreas apresentaram classes de solos profundas ( $\geq 200$  cm),<sup>47</sup> como pode ser visto na Tabela 2. Além disso, foi observado que as TPI apresentaram horizontes antrópicos (Horizonte A) muito mais espessos que os dos SNA, sendo 82 cm para a área P01 e 58 cm para a área P02, enquanto o SNA que

apresentou maior espessura neste horizonte atingiu no máximo 30 cm, que é considerado um valor típico para os solos majoritários da Região Amazônica.<sup>1-5</sup>

Santos e colaboradores, em estudos de TPI no sul do estado do Amazonas, observaram que os horizontes antrópicos variaram de 27 a 50 cm de profundidade.<sup>18-19</sup> Por outro lado, Campos e colegas ao avaliarem solos de TPI na região do médio Rio Madeira observaram que os horizontes antrópicos variaram de 37 a 50 cm.<sup>18-20</sup> A profundidade de ocorrência e a intensidade da cor dos horizontes antrópicos são produtos dos tempos de ocupação das áreas de TPI,<sup>18-20</sup> deste modo a grande variação identificada na profundidade de ocorrência dos horizontes antrópicos das áreas P01 e P02 sugere que estes sítios apresentam diferenças significativas entre si, refletindo o tempo de ocupação e densidades populacionais diferentes.

Somente as TPI apresentaram colorações muito escuras nos seus horizontes antropogênicos (A1-A4 para área P01 e A1-A5 para a área P02) e a presença simultânea de fragmentos cerâmicos, de materiais líticos e de carvões nos três primeiros horizontes (Tabela 2). Estando de acordo com os requisitos para serem reconhecidos como TPI, pois segundo Kampf & Kern,<sup>3</sup> estes solos antrópicos apresentam grandes profundidades do horizonte A, coloração escura e resquícios de artefatos indígenas incorporados à matriz dos horizontes superficiais do solo.<sup>1-7,11-24,48</sup> Esta coloração escura dos horizontes antrópicos em TPI são decorrentes de elevadas concentrações de resquícios de matéria orgânica e do carbono pirogênico obtido da combustão parcial da biomassa.<sup>12-14,16,17,48</sup>

A área P02 ao ter apresentado menor espessura do Horizonte A do que a área P01 pode servir de indício de uma menor densidade demográfica da população pré-Colombiana ou menor tempo de ocupação humana nesta área.<sup>1,17</sup> Também, pode-se sugerir uma atividade biológica menor no ponto P02 do que no ponto P01, acarretando em uma menor velocidade de soterramento e percolação da matéria orgânica.

Conforme pode ser observado na Tabela 2, a classificação textural para os horizontes antropogênicos variou entre franco-arenosa, franco-argiloarenosa, franco-argilosa e argilosa; enquanto nos demais horizontes diagnósticos sub-superficiais as classes texturais foram classificadas como: franco-argiloarenosa, argiloarenosa, franco-argilosa, franco-argilossiltosa, argilosa, muito argilosa e franco-arenosa. Estes resultados estão de acordo com os obtidos por Campos e colaboradores, assim como os de Santos e colegas, que demonstraram que as texturas das TPI variam de arenosa a muito argilosa devido às peculiaridades dos aspectos pedogenéticos destes solos.<sup>18-20</sup> Souza *et al.* também identificaram o predomínio das classes franco-arenosas em solos de TPI sob florestas secundária em Bragança (Pará) e enfatizaram que a matéria orgânica possui papel fundamental em solos arenosos devido à mineralogia predominante (geralmente caulinita, quartzo, óxidos de ferro e alumínio) que caracteriza solos de baixa fertilidade.<sup>48</sup>

Em relação à classe de drenagem, os solos TPI apresentam-se igualmente, de fortemente a excessivamente drenados ao longo dos perfis, e os solos SNA de moderadamente a bem drenados (Tabela 2).<sup>47</sup> A presença de horizontes bem drenados e com boa disponibilidade de água também foi identificado em perfis de TPI localizados em Apuí (AM).<sup>18</sup>

Assim como observado por Santos e colaboradores em uma topossequência de solos na cidade de Apuí (AM),<sup>17</sup> a pedogênese e uso pré-Colombiano da terra indicaram diferenças significativas nos perfis de solos avaliados. As propriedades morfológicas dos perfis P01 e P02 sugerem que as suas pedogêneses estão associadas com processos pedológicos influenciados pelo acúmulo de matéria orgânica, tais como humificação, melanização e formação de compostos de coordenação, como indicado pelas espessuras e colorações dos Horizontes A antrópicos. A melanização destes horizontes nas TPI foi mais efetiva do que nos SNA principalmente devido à presença significativa de partículas de carbono pirogênico.<sup>16,17</sup>

### 3.2. Atributos físicos dos solos

As distribuições dos tamanhos das partículas de solos permitiram identificar acentuadas diferenças entre as TPI e os SNA (Tabela 3). De uma maneira geral, as TPI (P01 e P02) apresentaram igual predomínio de areia (grossa e fina) com uma tendência de acréscimo, em profundidade, da fração argila do horizonte antrópico aos horizontes subsuperficiais (variação de 38 e 43 % para as TPI P01 e P02, respectivamente). Por outro lado, não foi identificado um mesmo padrão de distribuição das partículas entre os SNA, pois embora as áreas P03 e P04 tenham apresentado um predomínio e enriquecimento da fração argila com o aumento da profundidade, as concentrações de argila obtidas para a área P04 foram entre 40 e 50 % maiores do que aquelas da área P03, inclusive foi evidenciado um empobrecimento da fração silte em P04 com o aumento da profundidade, não ocorrendo o mesmo com P03. Além disso, a área P05 apresentou uma distribuição granulométrica diferente de todos os demais solos: predomínio da fração areia, com tendência de aumento das frações silte e argila em profundidade.

**Tabela 2.** Características morfológicas dos perfis de TPI e SNA no estado do Amazonas, Brasil

| Horizonte   | Profundidade (cm) | Fragmentos cerâmicos | Carvão   | Material lítico | Classe textural      |
|---|-------------------|----------------------|----------|-----------------|----------------------|
| ----- P01 - Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura arenosa/média, A antrópico ----- |                   |                      |          |                 |                      |
| A1  | 0-18              | Presente             | Presente | Presente        | Franco-arenosa       |
| A2  | 18-40             | Presente             | Presente | Presente        | Franco-arenosa       |
| A3  | 40-58             | Presente             | Presente | Presente        | Franco-arenosa       |
| A4  | 58-82             | Ausente              | Ausente  | Ausente         | Franco-arenosa       |
| BA  | 82-108            | Ausente              | Ausente  | Ausente         | Franco-argiloarenosa |
| Bt1   | 108-163           | Ausente              | Ausente  | Ausente         | Franco-argiloarenosa |
| Bt2   | 163-200           | Ausente              | Ausente  | Ausente         | Franco-argiloarenosa |
| ----- P02 - Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura arenosa/média, A antrópico ----- |                   |                      |          |                 |                      |
| A1  | 0-4               | Presente             | Presente | Presente        | Franco-arenosa       |
| A2  | 4-20              | Presente             | Presente | Presente        | Franco-argiloarenosa |
| A3  | 20-32             | Presente             | Presente | Presente        | Franco-argiloarenosa |
| A4  | 32-45             | Ausente              | Ausente  | Ausente         | Franco-argiloarenosa |
| A5  | 45-58             | Ausente              | Ausente  | Ausente         | Franco-argiloarenosa |
| AB  | 58-73             | Ausente              | Ausente  | Ausente         | Argiloarenosa        |
| BA  | 73-106            | Ausente              | Ausente  | Ausente         | Argiloarenosa        |
| Bt1   | 106-152           | Ausente              | Ausente  | Ausente         | Argiloarenosa        |
| Bt2   | 152-200           | Ausente              | Ausente  | Ausente         | Franco-argiloarenosa |
| ----- P03 - Argissolo Amarelo Distrófico plíntico de textura média/argilosa -----         |                   |                      |          |                 |                      |

|   |         |         |          |         |                       |
|---|---------|---------|----------|---------|-----------------------|
| A   | 0-23    | Ausente | Presente | Ausente | Franco-argilosa       |
| AB  | 23-38   | Ausente | Presente | Ausente | Franco-argilosa       |
| BA  | 38-50   | Ausente | Presente | Ausente | Franco-argilossiltosa |
| Bt  | 50-77   | Ausente | Ausente  | Ausente | Franco-argilossiltosa |
| Btf1  | 77-110  | Ausente | Ausente  | Ausente | Argila                |
| Btf2  | 110-200 | Ausente | Ausente  | Ausente | Argila                |
| ----- P04 - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico de textura média/argilosa ----- |         |         |          |         |                       |
| A   | 0-10    | Ausente | Ausente  | Ausente | Argila                |
| BA  | 10-25   | Ausente | Ausente  | Ausente | Muito argilosa        |
| Bt  | 25-70   | Ausente | Ausente  | Ausente | Muito argilosa        |
| Bw1   | 70-120  | Ausente | Ausente  | Ausente | Muito argilosa        |
| Bw2   | 120-200 | Ausente | Ausente  | Ausente | Muito argilosa        |
| ----- P05 - Argissolo Amarelo Distrófico plíntico de textura média/argilosa -----             |         |         |          |         |                       |
| A   | 0-30    | Ausente | Ausente  | Ausente | Franco-arenosa        |
| BA  | 30-50   | Ausente | Ausente  | Ausente | Franco-arenosa        |
| Bt  | 50-96   | Ausente | Ausente  | Ausente | Franco-argiloarenosa  |
| Btf1  | 96-140  | Ausente | Ausente  | Ausente | Franco-argiloarenosa  |
| Btf2  | 140-200 | Ausente | Ausente  | Ausente | Franco-argiloarenosa  |

Assim como observado neste estudo, Silva e colaboradores ao avaliarem TPI e SNA (Argissolos) no município de Bom Jesus do Tocantins e Lemos *et al.*, ao estudarem TPI e SNA (Latossolos) da Floresta de Caxiuanã (ambas as regiões situadas no estado do Pará) identificaram o predomínio da fração areia em todos os horizontes pedogênicos.<sup>23,25</sup> Solos de TPI na região de Manicoré (sul do Amazonas) e no médio Rio Madeira também apresentaram predomínio da fração areia nos horizontes antrópicos, como neste estudo.<sup>6,20</sup> Por outro lado, nas cidades de Apuí e Manicoré (ambas localizadas no sul do Amazonas) foi observado o predomínio da fração silte nos perfis de TPI.<sup>18,20</sup>

As menores concentrações de argila nos horizontes superficiais das TPI pode ser um indício de processo ativo de podzolização (translocação/eluviação de argila) ou, alternativamente, mais acentuada destruição das argilas, ou aumento no intemperismo.<sup>52,53</sup> Souza *et al.*,<sup>52</sup> ao avaliarem fósforo em solos de Rio Preto da Eva (AM) também identificaram a predominância de textura mais arenosa em TPI, como constatado no presente estudo, e sugeriram estar relacionada ao uso contínuo do fogo na superfície de material orgânico disponível, que combinados podem fundir partículas organo-minerais bastante estáveis em tamanho próximo da fração areia.<sup>16,52,53</sup> Por outro lado, Kern supõe que a variação textural numa mesma área de TPI ou áreas próximas, não se deva à ocupação humana pré-histórica, mas sim ao próprio material de origem sedimentar.<sup>1,2</sup>

A argila dispersa em água (AD) apresentou a capacidade de ser utilizada como atributo físico distintivo entre as TPI e os SNA (Tabela 3). Se por um lado foi identificado um decréscimo da AD com a profundidade nos solos TPI, o oposto foi evidenciado para todos os SNA. Visto que, os solos P01 e P02 ao apresentarem maiores valores de AD nos horizontes superficiais indicam que houve uma maior contribuição dos óxidos de ferro em maiores profundidades. Já as áreas P03, P04 e P05 ao possuírem valores de AD maiores nos horizontes subsuperficiais, se

comportaram como a grande maioria dos solos da Amazônia e indicam a existência de uma maior movimentação da argila (translocação) ao longo dos perfis,<sup>18</sup> possivelmente devido a algum tipo de revolvimento do solo anterior à conversão em floresta, o que favoreceu a desagregação e dispersão desta fração granulométrica.<sup>19,43</sup> Segundo Macedo e colaboradores uma maior quantidade de AD em Horizontes A antrópicos de TPI seria um indicativo de que o processo de argiluviação está em andamento.<sup>16</sup>

Além disso, o grau de floclação (GF) apresentou o mesmo comportamento para todos os solos avaliados: tendência de crescimento em função da profundidade; o que indica que os agregados dos solos possuem maiores estabilidades nos horizontes subsuperficiais. O GF indica baixa tendência à precipitação de argila para a formação de agregados em praticamente todo horizonte A nas áreas de TPI (Tabela 2), renunciando, conseqüentemente, baixa estabilidade de agregados nestas áreas, e mediana a alta floclação nos horizontes das áreas restantes.<sup>47</sup> Sendo todas as áreas compostas por solos sob florestas secundárias, presume-se que os SNA estão em processo de recuperação estrutural mais acelerado do que as TPI, já que a floclação é o primeiro passo para a formação de agregados.

Assim, os resultados apresentados para AD e GF estão de acordo com outros estudos sobre TPI, no qual se afirmou que as condições climáticas severas favorecem a destruição dos agregados do solo, mesmo sendo o estado de organização estrutural altamente desenvolvido.<sup>19,43,54</sup> Contudo, não se pode ignorar a elevada atividade biológica das TPI e as altas concentrações de matéria orgânica, que através das substâncias húmicas podem favorecer um efeito “cimentante” entre as partículas e favorecer uma maior agregação do solo.<sup>20</sup>

**Tabela 3.** Características físicas dos perfis TPI e SNA no estado do Amazonas, Brasil

| Horiz.  | Prof.<br>(cm) | Areia Grossa       | Areia Fina | Silte | Argila | AD        | GF  | S/A  | Ds                     | Dp  | Pt  |
|---|---------------|--------------------|------------|-------|--------|-----------|-----|------|------------------------|-----|-----|
|   |               | g kg <sup>-1</sup> |            |       |        | —— (%) —— |     |      | — g cm <sup>-3</sup> — |     | (%) |
| ----- P01 - Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura arenosa/média, A antrópico ----- |               |                    |            |       |        |           |     |      |                        |     |     |
| A1  | 0-18          | 592                | 164        | 61    | 183    | 12,2      | 33  | 0,33 | 1,1                    | 2,6 | 61  |
| A2  | 18-40         | 631                | 162        | 45    | 162    | 14,2      | 12  | 0,28 | 1,2                    | 2,5 | 58  |
| A3  | 40-58         | 616                | 178        | 44    | 162    | 16,2      | 0   | 0,27 | 1,2                    | 2,6 | 56  |
| A4  | 58-82         | 625                | 161        | 33    | 181    | 18,1      | 0   | 0,18 | 1,3                    | 2,8 | 52  |
| BA  | 82-108        | 554                | 149        | 35    | 262    | 26,2      | 0   | 0,13 | 1,3                    | 2,8 | 53  |
| Bt1   | 108-163       | 536                | 151        | 31    | 282    | 0         | 100 | 0,11 | 1,4                    | 2,8 | 55  |
| Bt2   | 163-200       | 558                | 153        | 27    | 262    | 0         | 100 | 0,10 | 1,5                    | 2,8 | 52  |
| ----- P02 - Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura arenosa/média, A antrópico ----- |               |                    |            |       |        |           |     |      |                        |     |     |
| A1  | 0-4           | 668                | 101        | 48    | 183    | 12,2      | 33  | 0,26 | 0,9                    | 2,7 | 62  |
| A2  | 4-20          | 541                | 114        | 81    | 264    | 24,3      | 8   | 0,31 | 1,0                    | 2,6 | 59  |
| A3  | 20-32         | 543                | 106        | 67    | 284    | 28,4      | 0   | 0,24 | 1,1                    | 2,8 | 60  |
| A4  | 32-45         | 506                | 122        | 47    | 325    | 28,5      | 12  | 0,14 | 1,1                    | 2,8 | 60  |
| A5  | 45-58         | 481                | 128        | 46    | 345    | 14,2      | 59  | 0,13 | 1,2                    | 2,5 | 61  |
| AB  | 58-73         | 464                | 122        | 49    | 365    | 0         | 100 | 0,13 | 1,2                    | 2,8 | 55  |
| BA  | 73-106        | 473                | 119        | 44    | 364    | 0         | 100 | 0,12 | 1,3                    | 2,8 | 56  |
| Bt1   | 106-152       | 502                | 103        | 32    | 363    | 0         | 100 | 0,09 | 1,4                    | 2,9 | 55  |
| Bt2   | 152-200       | 466                | 101        | 110   | 323    | 0         | 100 | 0,34 | 1,5                    | 2,9 | 54  |



| ----- P03 - Argissolo Amarelo Distrófico plíntico de textura média/argilosa -----             |         |     |     |     |     |      |     |      |     |     |    |  |
|---|---------|-----|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|----|--|
| A   | 0-23    | 22  | 199 | 431 | 348 | 18,4 | 47  | 1,24 | 1,3 | 2,8 | 51 |  |
| AB  | 23-38   | 18  | 190 | 424 | 368 | 20,5 | 44  | 1,15 | 1,4 | 2,6 | 47 |  |
| BA  | 38-50   | 12  | 170 | 470 | 348 | 24,5 | 29  | 1,35 | 1,4 | 2,6 | 47 |  |
| Bt  | 50-77   | 10  | 139 | 482 | 369 | 6,1  | 83  | 1,31 | 1,4 | 2,7 | 49 |  |
| Btf1  | 77-110  | 10  | 91  | 380 | 519 | 1,0  | 98  | 0,73 | 1,3 | 2,7 | 54 |  |
| Btf2  | 110-200 | 25  | 64  | 391 | 520 | 1,0  | 98  | 0,75 | 1,3 | 2,7 | 54 |  |
| ----- P04 - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico de textura média/argilosa ----- |         |     |     |     |     |      |     |      |     |     |    |  |
| A   | 0-10    | 289 | 124 | 153 | 434 | 24,8 | 43  | 0,35 | 1,2 | 2,5 | 52 |  |
| BA  | 10-25   | 33  | 45  | 117 | 805 | 0    | 100 | 0,15 | 1,1 | 2,6 | 59 |  |
| Bt  | 25-70   | 29  | 39  | 87  | 845 | 0    | 100 | 0,10 | 1,1 | 2,5 | 58 |  |
| Bw1   | 70-120  | 28  | 43  | 73  | 856 | 0    | 100 | 0,09 | 1,1 | 2,6 | 60 |  |
| Bw2   | 120-200 | 29  | 43  | 96  | 862 | 0    | 100 | 0,11 | 1,1 | 2,6 | 59 |  |
| ----- P05 - Argissolo Amarelo Distrófico plíntico de textura média/argilosa -----             |         |     |     |     |     |      |     |      |     |     |    |  |
| A   | 0-30    | 559 | 216 | 84  | 141 | 10,1 | 28  | 0,60 | 1,2 | 2,6 | 53 |  |
| BA  | 30-50   | 526 | 238 | 75  | 161 | 12,1 | 25  | 0,47 | 1,4 | 2,6 | 44 |  |
| Bt  | 50-96   | 442 | 222 | 74  | 262 | 0    | 100 | 0,28 | 1,4 | 2,7 | 46 |  |
| Btf1  | 96-140  | 394 | 158 | 145 | 303 | 0    | 100 | 0,48 | 1,5 | 2,7 | 42 |  |
| Btf2  | 140-200 | 374 | 131 | 232 | 263 | 0    | 100 | 0,88 | 1,6 | 2,7 | 39 |  |

Horiz.: Horizonte. Prof.: profundidade. AD: Argila dispersa em água. GF: Grau de flocculação. S/A: Razão silte/argila. Ds: Densidade do solo. Dp: Densidade de partículas. Pt: Porosidade total.

A razão silte/argila (S/A) pode ser usada como um índice auxiliar na indicação do estágio de intemperismo de solos de regiões tropicais; desta maneira, quanto maior o valor da razão S/A menos intemperizado será o solo.<sup>18,19,21,43</sup> Por sua vez, são caracterizados como altamente intemperizados os solos que apresentam na maior parte do horizonte B,  $S/A < 0,7$  (textura média), ou  $S/A < 0,6$  (textura argilosa ou muito argilosa).<sup>43</sup> Foi identificado neste estudo que, com exceção do perfil P03, todos os demais perfis apresentaram valores de S/A que os classificam como solos altamente intemperizados (maior grau de pedogênese). Campos e colaboradores, ao avaliarem TPI do médio Rio Madeira também identificaram que todos os perfis amostrados apresentavam-se como altamente intemperizados,<sup>20</sup> tal tendência também foi observada em metade dos perfis de solos avaliados na Região de Apuí e Manicoré por diferentes grupos de pesquisa.<sup>18,19,43</sup>

As densidades dos solos (Ds) apresentaram valores típicos para solos Amazônicos,<sup>21</sup> variando de 0,9 a 1,6 g cm<sup>-3</sup> e em P01, P02 e P05 tiveram uma mesma tendência de acréscimo com o aumento da profundidade, enquanto os solos P03 e P04 mantiveram suas Ds praticamente constantes ao longo dos perfis (Tabela 3). Contudo, as densidades das partículas (Dp) foram praticamente constantes em todos os perfis avaliados e a porosidade total (Pt) apresentou comportamento inverso das Ds, com os solos P01, P02 e P05 possuindo valores decrescentes com a profundidade e os solos P03 e P04 mantendo este parâmetro físico constante. As maiores Pt podem estar refletindo condições mais propícias devido a uma melhor estrutura do solo e presença mais atuante do sistema radicular das plantas.<sup>21</sup>

Assim como neste estudo, existem diversos relatos na literatura que demonstram que as Ds em TPI costumam possuir menores valores nos horizontes antropogênicos e tendência de aumento com a profundidade, principalmente como consequência de altos teores de matéria orgânica superficial e de intensa atividade biológica (raízes e fauna), que pode vir a construir canais, cavidades e

galerias.<sup>6,18,20,48,54</sup> Além disso, os valores constantes e semelhantes das Dp ( $\Delta Dp = 2,5$  a  $2,9$  g cm<sup>-3</sup>) entre todos os cinco perfis indica a presença de partículas de mesma natureza mineral.<sup>18,20</sup> Ademais, os maiores resultados de Pt para as TPI podem ser devido a uma maior presença de fragmentos de carbono pirogênico, pois estes são reconhecidamente altamente porosos e capazes de melhorar uma grande variedade de propriedades físicas do solo, incluindo a microporosidade e a Pt.<sup>12-18,48</sup>

As TPI ao possuírem, nos horizontes antropogênicos, as menores Ds e Pt apresentam melhores condições pedológicas que aquelas apresentadas pelos SNA. Souza e colaboradores, ao avaliarem a variabilidade de atributos físicos em solos TPI e SNA também identificaram melhores condições para as TPI em relação à Pt, microporosidade e Ds, destacando as melhores características desses solos.<sup>48</sup>

### 3.3. Atributos químicos dos solos

O pH do solo é amplamente utilizado em estudos de prospecção arqueológica para distinguir os níveis de ocupação e diferentes zonas estratigráficas.<sup>55</sup> Os solos Amazônicos típicos (Latosolos, Argissolos, Neossolos Quartzarênicos etc.) possuem elevada acidez ( $pH \cong 4,0$ ) devido ao intemperismo (potencializado por elevadas temperaturas e alta pluviosidade), o que proporciona altas concentrações de Al trocável, que é tóxico ao desenvolvimento das plantas.<sup>7,48</sup> Neste estudo, os valores de  $pH(H_2O)$  variaram de 3,5 (extremamente ácido) a 5,3 (fortemente ácido);<sup>47</sup> por sua vez os valores de  $pH(KCl)$  foram sempre menores, entre 3,4 e 4,5 (Tabela 4). Logo, o valor de  $\Delta pH$  foi negativo para todas as camadas de solos avaliadas, indicando um balanço negativo da carga superficial líquida dos colóides dos solos; predominância de argilas silicatadas; existência de CTC para todos os perfis; e confirmação da existência de um nível razoável de matéria orgânica no solo, considerando os padrões de solos agrícolas tropicais.<sup>19,21,23,47,56</sup> O predomínio da faixa

ácida de pH e  $\Delta$ pH negativo ao longo dos perfis estão de acordo com os resultados apresentados para TPI e SNA em diferentes localidades da Região Amazônica.<sup>6,7,24,43,48,57</sup>

Com exceção dos Horizontes A1 e A2 da amostra P01, todas as camadas dos demais solos avaliados apresentaram baixas concentrações de  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (Tabela 4). Concentrações baixas de  $K^+$  e  $Na^+$  pode ser um indício que o aporte proveniente de cinzas após as queimadas já se perdeu devido ao alto grau de intemperismo,<sup>7,21</sup> ou por lixiviação, ou pelo uso agrícola prolongado. Souza *et al.*, também identificaram, em TPI de Rio Preto da Eva (AM), concentrações de  $K^+$  próximas às apresentadas neste estudo e deduziram que isto era devido à natureza arenosa das TPI e à uma grande distância das planícies aluviais altamente férteis dos principais rios amazônicos, indicaram também que TPI arenosas são rapidamente degradadas pelo cultivo, quando comparadas às TPI próximas à planície aluvial dos Rios Amazonas ou Solimões.<sup>52</sup> Segundo Kern e colaboradores, TPI formadas a partir de solos arenosos, como é o caso deste estudo, costumam apresentar baixas concentrações de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e demais parâmetros de fertilidade, ocasionando em uma possível restrição à nutrição mineral de plantas.<sup>58</sup> Se P01 e P02 são áreas de atividade antrópicas antigas e possuem baixos teores de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$ , pode-se supor também que sejam áreas intencionalmente mais limpas, ou de ocupação populacional de curta duração cronológica, ou de baixa densidade ocupacional humana, logo não sendo alvo de grandes descartes propositais de resíduos pela população pré-Colombiana, como foi evidenciado por Costa & Kern em um sítio arqueológico no estado do Pará.<sup>1,2,5,6,17,19,20,42,58</sup>

A soma das bases trocáveis (S) apresentou baixos valores para todos os horizontes avaliados, variando de 0,1 à 3,7  $cmol_c\ kg^{-1}$  (Tabela 4). Contudo, foram significativamente mais elevados, 9 a 16 vezes maiores, nas duas camadas mais superficiais da área P01, do que nas duas camadas menos profundas da área P02. Campos *et al.*, também identificaram

valores diferentes para S entre áreas de TPI e concluíram que S pode variar em função do ambiente de ocorrência.<sup>6</sup> As maiores contribuições para S foram as do cátion  $Ca^{2+}$ , que em TPI é um indicativo de ser oriundo de rejeitos de alimentos de origem animal com carapaça (quelônios), ou disposição de ossos de animais e seres humanos,<sup>2,17,20</sup> ou devido à maior afinidade do Ca por superfícies de troca dos solos, resultando em menor lixiviação.<sup>42</sup>

As concentrações de  $Al^{3+}$  e acidez potencial ( $Al^{3+}+H^+$ ) apresentaram uma mesma tendência de queda com a profundidade em todos os perfis (Tabela 4). Entretanto, as concentrações de  $Al^{3+}$  nos Horizontes A das TPI foram menores que as obtidas nos SNA, assim como observado por Campos *et al.*, em Manicoré (AM).<sup>6</sup> Por sua vez, as altas saturações por alumínio (m), em todos os perfis avaliados são resultado direto dos valores de pH menores que 5,4, como visto anteriormente. As baixas concentrações de  $Al^{3+}$  e altos potenciais de acidez das TPI indicam uma conjugação de importantes fenômenos pedológicos em que a acidez nestes solos é composta primariamente por íons  $H^+$  originários da decomposição da matéria orgânica do solo, que por sua vez atua também como agente complexante do  $Al^{3+}$ , tornando-o menos biodisponível e, conseqüentemente, menos tóxico às plantas.<sup>7,17,42,47</sup> Por outro lado, os perfis de SNA ao apresentarem altas concentrações de  $Al^{3+}$  ( $[Al^{3+}] \geq 1,6\ cmol_c\ kg^{-1}$ ), acidez potencial e m(%) comportam-se como solos típicos da Amazônia em que o alumínio se torna um fator limitante ao desenvolvimento das plantas devido à sua ação fitotóxica,<sup>47</sup> devido à uma maior intensidade dos processos de intemperismo e maior decomposição da matéria orgânica.<sup>21</sup> Além disso, todos os perfis avaliados comportam-se como provenientes das chamadas *Terras Firmes Amazônicas*, pois são bem drenados, apresentam reação ácida, baixa saturação por bases e alta saturação por alumínio.<sup>21</sup>

A capacidade de troca catiônica (CTC) e a saturação por bases (V) apresentaram comportamentos semelhantes, ambas tiveram baixos valores e uma nítida tendência

de queda com a profundidade dos perfis (Tabela 4). Os reduzidos valores de CTC indicam uma baixa atividade da fração argila para todos os horizontes avaliados.<sup>1,2</sup> Além disso, uma tendência de decréscimo da CTC com a profundidade também foi observada por outros autores que avaliaram perfis de TPI e SNA na Região Amazônica,<sup>6,7,19,20,42,47</sup> e pode estar relacionada com a variação da matéria orgânica altamente reativa oriunda do carbono pirogênico (contendo grupamentos carboxílicos e fenólicos), depositado nos ambientes de TPI.<sup>6,7,12,13,42,47</sup> Os valores de saturação por bases foram extremamente baixos ( $V < 50$  %), conferindo caráter distrófico a todos os perfis avaliados e revelando a pobreza natural do material de origem. Santos *et al.*,<sup>19</sup> identificaram perfis de solos que variaram de eutróficos à distróficos, o que só reforça a ideia da existência uma grande variedade de solos TPI em relação à sua fertilidade.<sup>42</sup>

O fósforo é um dos elementos químicos que servem como atributo diagnóstico das TPI. Contudo, neste estudo, as concentrações deste elemento foram extremamente reduzidas ( $[P] \leq 3$  mg kg<sup>-1</sup>) em todas as áreas, sendo exceção os horizontes antrópicos do perfil P01, que apresentou concentrações de P que variaram de 3 a 18 mg kg<sup>-1</sup> enquanto os demais perfis variaram de 1 a 3 mg kg<sup>-1</sup> (Tabela 4). Os SNA típicos de *Terra Firme* da Região Amazônica apresentam baixas concentrações de fósforo ( $[P] \leq 5$  mg kg<sup>-1</sup>), enquanto TPI típicas apresentam elevadas concentrações ( $[P] \geq 200$  mg kg<sup>-1</sup>) decorrente do grande acúmulo pretérito de cinzas de fogueiras, cascos de tartarugas, peixes e ossos de outros animais no solo.<sup>7,42,52</sup> Logo, embora as áreas P01 e P02 sejam TPI, a primeira apresenta uma significativa influência antrópica decorrente da maior intensidade de incorporação de rejeitos pelos antigos habitantes pré-Colombianos, com isso intensificando ainda mais os processos pedogênicos de formação do solo do que em P02, refletindo com isso uma deposição não uniforme de dejetos domésticos.<sup>6,19,20</sup>

As concentrações de carbono orgânico total (COT) variaram de 5,2 à 29,5 g kg<sup>-1</sup> nos

horizontes A antrópicos superficiais (Tabela 4), apresentando uma mesma tendência de queda com a profundidade nos perfis, que por sua vez apresentaram baixos teores de matéria orgânica ( $COT \leq 20$  g kg<sup>-1</sup>), com exceção do Horizonte A do perfil P04 que apresentou alta concentração de COT (29,5 g kg<sup>-1</sup>). As concentrações de COT das áreas de TPI do presente estudo foram similares ou superiores e apresentaram uma mesma tendência de queda suave com a profundidade quando comparadas com outros estudos na Região Amazônica.<sup>1-3,7,59</sup> Contudo, Santos *et al.*, obtiveram concentrações de COT cerca de dez vezes maiores do que as apresentadas neste estudo.<sup>18</sup> Além disso, as concentrações de COT situam as áreas P01 e P02 como TPI sob floresta, pela classificação elaborada por Madari *et al.*,<sup>4</sup> porém quando se correlacionam as concentrações de COT com CTC, percebe-se que as duas áreas se encaixam melhor no grupo de TPI sob cultivo. Embora não tão altas, as concentrações de COT nos perfis de TPI demonstraram o significativo acúmulo de material orgânico pelas populações ameríndias pré-Colombianas, pois ao longo dos perfis foram muito superiores aos apresentados pelos SNA, corroborando a afirmação de que as TPI são muito mais ricas em matéria orgânica do que os solos adjacentes ou representativos da região amazônica.<sup>1-5,7,16</sup>

Como visto anteriormente, a espessura dos horizontes A antrópicos das TPI ( $\geq 40$  cm), presença visual de atividade antrópica (cacos cerâmicos, materiais líticos e carvão), aliado às concentrações de COT maiores que 10,0 g kg<sup>-1</sup> são provas que as áreas P01 e P02 são classificadas como Terras Pretas de índio.<sup>1-5,7,13</sup>

**Tabela 4.** Indicadores químicos dos perfis de Solos Arqueológicos (AS) e Não Arqueológicos (SNA) no estado do Amazonas, Brasil

| Horiz.  | Prof.<br>(cm) | pH               |     |      | Ca <sup>2+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | K <sup>+</sup> | Na <sup>+</sup> | S   | Al <sup>3+</sup> | H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup> | T    | V  | m  | P    | COT  | N   | C/N |
|---|---------------|------------------|-----|------|------------------|------------------|----------------|-----------------|-----|------------------|----------------------------------|------|----|----|------|------|-----|-----|
|   |               | H <sub>2</sub> O | KCl | ΔpH  |                  |                  |                |                 |     |                  |                                  |      |    |    |      |      |     |     |
| ----- P01 - Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura arenosa/média, A antrópico ----- |               |                  |     |      |                  |                  |                |                 |     |                  |                                  |      |    |    |      |      |     |     |
| A1  | 0-18          | 5,3              | 4,5 | -0,8 | 3,4              | 0,2              | 0,05           | 0,02            | 3,7 | 0,2              | 7,0                              | 10,9 | 34 | 5  | 7    | 17,4 | 1,5 | 12  |
| A2  | 18-40         | 5,3              | 4,4 | -0,9 | 1,0              | 0,3              | 0,01           | 0,01            | 1,6 | 0,5              | 7,4                              | 9,5  | 17 | 24 | 18   | 13,3 | 0,8 | 17  |
| A3  | 40-58         | 5,2              | 4,2 | -1,0 | 0,6              | 0,01             | 0,01           | 0,6             | 0,7 | 6,0              | 7,3                              | 8    | 54 | 16 | 9,1  | 0,6  | 15  |     |
| A4  | 58-82         | 5,0              | 4,2 | -0,8 | 0,2              | 0,01             | 0,01           | 0,2             | 0,7 | 3,7              | 4,6                              | 4    | 78 | 9  | 5,2  | 0,5  | 10  |     |
| BA  | 82-108        | 5,0              | 4,2 | -0,7 | 0,2              | 0,01             | 0,01           | 0,2             | 0,5 | 2,8              | 3,5                              | 6    | 71 | 3  | 3,3  | 0,4  | 8   |     |
| Bt1   | 108-163       | 4,9              | 4,2 | -0,7 | 0,1              | 0,01             | 0,01           | 0,1             | 0,4 | 2,2              | 2,7                              | 4    | 80 | 3  | 1,9  | 0,3  | 6   |     |
| Bt2   | 163-200       | 4,9              | 4,2 | -0,7 | 0,1              | 0,01             | 0,01           | 0,1             | 0,3 | 1,8              | 2,2                              | 5    | 75 | 3  | 1,6  | 0,3  | 5   |     |
| ----- P02 - Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura arenosa/média, A antrópico ----- |               |                  |     |      |                  |                  |                |                 |     |                  |                                  |      |    |    |      |      |     |     |
| A1  | 0-4           | 4,1              | 3,5 | -0,6 | 0,3              | 0,06             | 0,06           | 0,4             | 1,4 | 7,9              | 9,7                              | 4    | 78 | 1  | 17,1 | 1,3  | 13  |     |
| A2  | 4-20          | 4,2              | 3,7 | -0,5 | 0,1              | 0,01             | 0,01           | 0,1             | 2,1 | 2,1              | 11,2                             | 1    | 95 | 1  | 11,7 | 0,8  | 15  |     |
| A3  | 20-32         | 4,6              | 4,1 | -0,5 | 0,1              | 0,01             | 0,01           | 0,1             | 1,5 | 1,5              | 10,1                             | 1    | 94 | 1  | 16,7 | 1,1  | 15  |     |
| A4  | 32-45         | 4,5              | 4,2 | -0,3 | 0,1              | 0,01             | 0,01           | 0,1             | 1,3 | 1,3              | 8,1                              | 1    | 93 | 1  | 14,8 | 0,9  | 16  |     |
| A5  | 45-58         | 4,7              | 4,2 | -0,5 | 0,1              | 0,01             | 0,01           | 0,1             | 0,9 | 0,9              | 6,8                              | 1    | 90 | 1  | 8,9  | 0,6  | 15  |     |
| AB  | 58-73         | 4,6              | 4,2 | -0,4 | 0,1              | 0,01             | 0,01           | 0,1             | 0,9 | 0,9              | 5,2                              | 2    | 90 | 1  | 5,9  | 0,5  | 12  |     |
| BA  | 73-106        | 4,5              | 4,1 | -0,4 | 0,1              | 0,01             | 0,01           | 0,1             | 0,7 | 0,7              | 3,4                              | 3    | 87 | 1  | 3,5  | 0,4  | 9   |     |
| Bt1   | 106-152       | 4,6              | 4,2 | -0,4 | 0,1              | 0,01             | 0,01           | 0,1             | 0,6 | 0,6              | 2,2                              | 5    | 86 | 1  | 1,8  | 0,3  | 6   |     |
| Bt2   | 152-200       | 4,5              | 4,3 | -0,2 | 0,3              | 0,01             | 0,01           | 0,3             | 0,5 | 0,5              | 2,1                              | 14   | 62 | 1  | 1,3  | 0,3  | 4   |     |

| ----- P03 - Argissolo Amarelo Distrófico plíntico de textura média/argilosa -----             |         |     |     |      |     |      |      |     |     |     |      |    |    |   |      |     |    |
|---|---------|-----|-----|------|-----|------|------|-----|-----|-----|------|----|----|---|------|-----|----|
| A   | 0-23    | 4,6 | 4,0 | -0,6 | 0,2 | 0,07 | 0,01 | 0,3 | 3,5 | 3,8 | 7,6  | 4  | 92 | 1 | 10,4 | 1,0 | 10 |
| AB  | 23-38   | 4,8 | 4,0 | -0,8 | 0,2 | 0,04 | 0,01 | 0,2 | 3,3 | 3,0 | 6,5  | 3  | 94 | 1 | 6,4  | 0,8 | 8  |
| BA  | 38-50   | 4,9 | 4,1 | -0,8 | 0,2 | 0,04 | 0,01 | 0,2 | 3,5 | 2,6 | 6,3  | 3  | 94 | 1 | 5,0  | 0,7 | 7  |
| Bt  | 50-77   | 4,8 | 4,0 | -0,8 | 0,2 | 0,03 | 0,01 | 0,2 | 3,4 | 1,9 | 5,5  | 4  | 94 | 1 | 4,0  | 0,7 | 6  |
| Btf1  | 77-110  | 4,9 | 4,0 | -0,9 | 0,2 | 0,05 | 0,01 | 0,3 | 5,4 | 2,7 | 8,4  | 3  | 95 | 1 | 3,1  | 0,7 | 4  |
| Btf2  | 110-200 | 5,0 | 4,0 | -1,0 | 0,2 | 0,07 | 0,01 | 0,3 | 6,3 | 3,8 | 10,4 | 3  | 95 | 1 | 1,8  | 0,4 | 4  |
| ----- P04 - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico de textura média/argilosa ----- |         |     |     |      |     |      |      |     |     |     |      |    |    |   |      |     |    |
| A   | 0-10    | 3,5 | 3,4 | -0,1 | 0,4 | 0,10 | 0,01 | 0,5 | 2,9 | 9,2 | 12,6 | 4  | 85 | 2 | 29,5 | 2,3 | 13 |
| BA  | 10-25   | 4,6 | 4,1 | -0,5 | 0,3 | 0,02 | 0,01 | 0,3 | 1,2 | 4,3 | 5,8  | 5  | 80 | 1 | 10,1 | 1,1 | 9  |
| Bt  | 25-70   | 4,7 | 4,1 | -0,6 | 0,3 | 0,02 | 0,01 | 0,3 | 1,3 | 3,2 | 4,8  | 6  | 81 | 1 | 6,2  | 0,8 | 8  |
| Bw1   | 70-120  | 5,0 | 4,2 | -0,8 | 0,4 | 0,01 | 0,01 | 0,4 | 1,0 | 2,6 | 4,0  | 10 | 71 | 1 | 2,9  | 0,6 | 5  |
| Bw2   | 120-200 | 5,0 | 4,2 | -0,8 | 0,3 | 0,01 | 0,01 | 0,3 | 1,0 | 2,4 | 3,7  | 8  | 77 | 1 | 2,5  | 0,5 | 5  |
| ----- P05 - Argissolo Amarelo Distrófico plíntico de textura média/argilosa -----             |         |     |     |      |     |      |      |     |     |     |      |    |    |   |      |     |    |
| A   | 0-30    | 4,2 | 4,0 | -0,2 | 0,3 | 0,10 | 0,02 | 0,4 | 1,0 | 4,8 | 6,2  | 6  | 71 | 3 | 11,7 | 0,9 | 13 |
| BA  | 30-50   | 4,3 | 4,1 | -0,1 | 0,1 | 0,04 | 0,01 | 0,1 | 0,9 | 3,1 | 4,1  | 2  | 90 | 1 | 6,0  | 0,6 | 10 |
| Bt  | 50-96   | 4,7 | 4,2 | -0,5 | 0,1 | 0,03 | 0,01 | 0,1 | 0,7 | 2,1 | 2,9  | 3  | 87 | 1 | 2,4  | 0,3 | 8  |
| Btf1  | 96-140  | 4,9 | 4,3 | -0,6 | 0,1 | 0,03 | 0,01 | 0,1 | 0,7 | 2,1 | 2,9  | 3  | 87 | 1 | 1,9  | 0,3 | 6  |
| Btf2  | 140-200 | 4,7 | 4,4 | -0,3 | 0,1 | 0,03 | 0,01 | 0,1 | 0,3 | 1,7 | 2,1  | 5  | 75 | 1 | 1,5  | 0,3 | 5  |

Horiz.: Horizonte. Prof.: profundidade. T: Capacidade de troca catiônica. V: Saturação por bases. m: Saturação por alumínio. COT: Carbono orgânico total.

As concentrações de nitrogênio (N) e as relações C/N variaram de 0,3 à 2,3 g kg<sup>-1</sup> e de 4 à 17, respectivamente (Tabela 4). As concentrações de N das TPI e dos SNA foram muito semelhantes, decresceram com as profundidades dos perfis e são aquelas mais próximas do ideal para a disponibilização vegetal.<sup>4,5</sup> Além disso, os teores de N ao longo dos perfis nos solos TPI assemelham-se muito aos que foram encontrados em solos sob florestas (secundária e terciária) e num solo sob pasto no estado de Rondônia, estando os valores de N dos SNA mais condizentes com os apresentados por dois solos sob floresta primária intacta e um solo sob floresta primária recém derrubada.<sup>59</sup>

As TPI por possuírem maiores concentrações de COT apresentaram também as maiores relações C:N, possivelmente refletindo os efeitos de longo tempo de cultivo pretérito, pois, geralmente o uso intenso do solo para agricultura eleva a relações C:N, já que está relacionada à redução na mineralização de polissacarídeos e/ou à incorporação de carbono novo nas estruturas das substâncias húmicas.<sup>5</sup> As altas relações C:N das TPI podem sugerir ou incorporação de material com alta relação C:N, ou aumento da proliferação microbiana devido à fonte de energia fornecida pelo COT, pois, aumentando-se a oxidação da matéria orgânica, imobiliza-se grande parte do nitrogênio pelos microorganismos, influenciando o teor de N mineralizável, demonstrando com isso elevado teor de matéria orgânica ainda em decomposição.<sup>4,5,12,13</sup> Porém, o mais provável é que ocorra uma maior influência do carbono pirogênico na matéria orgânica do solo.<sup>16</sup> As TPI foram as que apresentaram um maior número de camadas de solo em que foram observadas relações C:N que se encaixassem dentro da faixa que indica estabilidade biológica (C:N = 10 a 12).<sup>4,7,13</sup> Nos SNA, o valor da relação C:N encontra-se majoritariamente abaixo da faixa sugerida para estabilidade biológica, indicando que nestes solos o processo de mineralização secundária é maior, evidenciando a baixa resistência a este processo das substâncias húmicas presentes e sugerindo uma maior presença de fragmentos

de proteínas de peptídeos nas mesmas, o que está de acordo com o pressuposto de que a maior parte da matéria orgânica presente nas TPI é de origem pirogênica e não tanto da decomposição e migração do material vegetal.<sup>4,7,12,13,16</sup>

A digestão por ácido sulfúrico revelou que as concentrações dos óxidos de Si, Fe e Al aumentaram com a profundidade e que o TiO<sub>2</sub> manteve-se praticamente constante em todos os perfis avaliados (Tabela 5). As concentrações de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub> foram predominantes em todos os perfis, evidenciando a abundância de Al e Si (quartzo) no material de origem destes solos. Santos *et al.*,<sup>17,19</sup> e Aquino e colegas também observaram a presença predominante de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e SiO<sub>2</sub> nos perfis de TPI avaliados.<sup>42</sup>

As concentrações de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> contidas nos horizontes antrópicos variaram de 9 à 38 g kg<sup>-1</sup> e nos horizontes subsuperficiais de 17 a 91 g kg<sup>-1</sup> e revelam uma relativa escassez de Ferro no material parental destes solos (solos hipo e mesoférricos).<sup>17,19,46</sup> Contudo, estas faixas de variação estão próximas aos limites encontrados por Silva e colegas ao estudarem solos antrópicos Amazônicos,<sup>57</sup> onde encontraram valores de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> variando de 43 à 99 g kg<sup>-1</sup>, em horizontes subsuperficiais, que embora sejam valores baixos são considerados como resultados típicos para solos Amazônicos.<sup>17,42,57</sup> Embora as concentrações de COT nas TPI, deste estudo, não sejam tão elevadas, podem ter sido suficientes para agirem como inibidoras da cristalização dos óxidos de ferro,<sup>17</sup> ou o regime hídrico associado à escassez do material parental podem ter favorecido a redistribuição, mobilização e exportação do ferro na forma mal cristalizada (Fe<sub>o</sub>) para outros locais ou em profundidade.<sup>19</sup> Por outro lado, os teores de TiO<sub>2</sub> contidos nos perfis variaram de 4,1 à 12,8 g kg<sup>-1</sup> indicando uma uniformidade dos materiais de origem dos solos avaliados e refutando uma possível descontinuidade litológica,<sup>17</sup> pois o TiO<sub>2</sub> é um óxido naturalmente resistente ao intemperismo, podendo permanecer nos solos como minerais primários (ilmenita e

rutilo), com isso apresentando baixa solubilidade e mobilidade.<sup>54</sup>

**Tabela 5.** Teores dos óxidos do ataque sulfúrico ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ) e respectivas relações nos perfis TPI e SNA do estado do Amazonas, Brasil.

| Horiz.  | Prof.<br>(cm) | $\text{SiO}_2$     | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{TiO}_2$ | Ki   | Kr   | $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ |
|---|---------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|------|------|---|
|   |               | g kg <sup>-1</sup> |                         |                         |                |      |      |   |
| ----- P01 - Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura arenosa/média, A antrópico ----- |               |                    |                         |                         |                |      |      |   |
| A1  | 0-18          | 57                 | 9                       | 50                      | 4,9            | 1,94 | 1,74 | 8,72  |
| A2  | 18-40         | 64                 | 11                      | 63                      | 5,7            | 1,73 | 1,55 | 8,99  |
| A3  | 40-58         | 65                 | 12                      | 64                      | 5,9            | 1,73 | 1,54 | 8,37  |
| A4  | 58-82         | 72                 | 14                      | 72                      | 5,5            | 1,70 | 1,51 | 8,07  |
| BA  | 82-108        | 107                | 18                      | 107                     | 7,3            | 1,70 | 1,53 | 9,33  |
| Bt1   | 108-163       | 111                | 17                      | 116                     | 6,8            | 1,63 | 1,49 | 10,71   |
| Bt2   | 163-200       | 107                | 17                      | 116                     | 6,7            | 1,57 | 1,43 | 10,71   |
| ----- P02 - Argissolo Amarelo Distrófico típico, textura arenosa/média, A antrópico ----- |               |                    |                         |                         |                |      |      |   |
| A1  | 0-4           | 64                 | 9                       | 61                      | 4,1            | 1,78 | 1,63 | 10,64   |
| A2  | 4-20          | 107                | 17                      | 107                     | 5,9            | 1,70 | 1,54 | 9,88  |
| A3  | 20-32         | 111                | 19                      | 117                     | 6,1            | 1,61 | 1,46 | 9,67  |
| A4  | 32-45         | 123                | 18                      | 133                     | 7,0            | 1,57 | 1,45 | 11,60   |
| A5  | 45-58         | 132                | 18                      | 139                     | 6,8            | 1,61 | 1,49 | 12,12   |
| AB  | 58-73         | 126                | 20                      | 146                     | 7,1            | 1,47 | 1,35 | 11,46   |
| BA  | 73-106        | 116                | 22                      | 145                     | 6,9            | 1,36 | 1,24 | 10,35   |
| Bt1   | 106-152       | 138                | 21                      | 145                     | 6,9            | 1,62 | 1,48 | 10,84   |
| Bt2   | 152-200       | 139                | 22                      | 145                     | 6,3            | 1,63 | 1,49 | 10,35   |
| ----- P03 - Argissolo Amarelo Distrófico plíntico de textura média/argilosa -----         |               |                    |                         |                         |                |      |      |   |
| A   | 0-23          | 108                | 38                      | 103                     | 5,3            | 1,78 | 1,45 | 4,26  |
| AB  | 23-38         | 117                | 39                      | 109                     | 6,0            | 1,82 | 1,48 | 4,39  |
| BA  | 38-50         | 119                | 39                      | 112                     | 5,5            | 1,81 | 1,47 | 4,51  |
| Bt  | 50-77         | 131                | 41                      | 122                     | 6,1            | 1,83 | 1,51 | 4,67  |
| Btf1  | 77-110        | 200                | 73                      | 188                     | 6,1            | 1,81 | 1,45 | 4,04  |
| Btf2  | 110-180       | 230                | 91                      | 215                     | 5,9            | 1,82 | 1,43 | 3,71  |
| --- P04 - Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico latossólico de textura média/argilosa --- |               |                    |                         |                         |                |      |      |   |
| A   | 0-10          | 182                | 23                      | 148                     | 7,9            | 2,09 | 1,90 | 10,10   |
| BA  | 10-25         | 294                | 36                      | 271                     | 10,7           | 1,84 | 1,70 | 11,82   |
| Bt  | 25-70         | 309                | 37                      | 266                     | 12,1           | 1,97 | 1,81 | 11,29   |



|   |         |     |    |     |      |      |      |       |
|---|---------|-----|----|-----|------|------|------|-------|
| Bw1   | 70-120  | 307 | 40 | 276 | 12,8 | 1,89 | 1,73 | 10,83 |
| Bw2   | 120-200 | 323 | 38 | 283 | 12,7 | 1,94 | 1,79 | 11,69 |
| ----- P05 - Argissolo Amarelo Distrófico plíntico de textura média/argilosa ----- |         |     |    |     |      |      |      |       |
| A   | 0-30    | 98  | 15 | 95  | 4,7  | 1,87 | 1,77 | 11,23 |
| BA  | 30-50   | 120 | 27 | 105 | 5,8  | 2,09 | 1,96 | 11,33 |
| Bt  | 50-96   | 203 | 38 | 210 | 9,3  | 1,89 | 1,73 | 11,44 |
| Btf1  | 96-140  | 228 | 45 | 222 | 8,9  | 2,13 | 1,69 | 9,78  |
| Btf2  | 140-200 | 234 | 33 | 231 | 9,2  | 1,85 | 1,77 | 14,63 |

Horiz.: Horizonte. Prof.: profundidade. ki: relação  $\%SiO_2 \times 1,7 / \%Al_2O_3$  e kr:  $\%SiO_2 \times 1,7 / (\%Al_2O_3 + \%Fe_2O_3 \times 0,64)$

Os índices de intemperismo (Ki e Kr) apresentaram uma marcante tendência de queda com a profundidade nas TPI, enquanto nos SNA apresentaram-se praticamente constantes ao longo dos perfis (Tabela 5). Contudo, os valores de Ki e Kr para ambos os grupos de solos (TPI e SNA) foram globalmente muito próximos, indicando homogeneidade e predomínio de argilas 1:1 de baixa atividade (cauliníntica ou óxi-hidróxidos de Fe ou Al) e caracterizando-os como solos altamente desenvolvidos e intemperizados ( $Ki \leq 2$ ).<sup>17,21,54</sup> Além disso, os maiores resultados de Ki refletem as maiores concentrações de Si presentes nos feldspatos do material de origem do solo.<sup>17</sup> Todos os perfis avaliados possuem Ki e  $Kr \geq 1,0$ ; que por sua vez definem estes solos com características mineralógicas predominantemente caulínicas, ao contrário do que foi observado por Aquino e colaboradores que identificaram um predomínio de minerais oxídicos em TPI de Apuí (AM).<sup>42</sup> Finalmente, as relações moleculares  $Al_2O_3 / Fe_2O_3$  de todos os solos avaliados reforçam o caráter mineralógico caulínico dos perfis ao variarem de 3,71 à 14,63 (Tabela 5).

#### 3.4. A importância do entendimento dos processos pedogênicos e antrópicos na formação das Terras Pretas de Índio

Como pode ser demonstrado no presente estudo, foram evidenciadas duas tendências distintas na gênese e formação das TPI e dos SNA em função da presença de processos pedogênicos regulares e/ou processos antrópicos. Por um lado, os SNA demonstraram-se influenciados apenas por processos pedogênicos característicos de solos da Região Amazônica, nas quais o intemperismo é praticamente o agente pedológico mais importante e atuante na formação destes solos. Por outro lado, as TPI apresentam-se mais complexas e indicaram ser o resultado da interação entre processos antrópicos e pedogênicos, o que explicaria o porquê de duas áreas tão próximas (P01 e P02) apresentarem uma grande variabilidade, que pode ser atribuída à intencionalidade ou a densidade populacional dos antigos habitantes pré-Colombianos.<sup>3,16,58</sup>

#### 3.5. Classificação dos solos

De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS) elaborado pela Embrapa,<sup>46</sup> os impactos humanos distinguem-se pela presença de um horizonte A antrópico, que é descrito como um horizonte formado ou modificado pelo uso intenso da terra (cultivo ou habitação), ou adição de material orgânico contendo fragmentos de artefatos cerâmicos e/ou líticos entre outros. Em TPI a influência antrópica é reconhecida no 4<sup>a</sup> nível hierárquico.<sup>47</sup> Logo, os perfis avaliados foram

classificados até o 4ª nível categórico, sendo utilizado para o 5ª nível o agrupamento textural e tipo de horizonte A. Desta forma, as áreas foram assim classificadas:

P01 - Argissolo Amarelo distrófico típico, textura arenosa/média, A antrópico;

P02 - Argissolo Amarelo distrófico típico, textura arenosa/média, A antrópico;

P03 - Argissolo Amarelo distrófico plíntico de textura média/argilosa;

P04 - Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico latossólico de textura média/argilosa;

P05 - Argissolo Amarelo distrófico plíntico de textura média/argilosa.

As classes de solos identificadas foram concordantes com as encontradas por diversos autores que afirmaram que as TPI se enquadram taxonomicamente nas ordens dos Argissolos, Latossolos, Cambissolos e Neossolos.<sup>12,16,19,20</sup>

### 3.6. Seriam as Terras Pretas de Índio adequadas *golden spikes* do Antropoceno?

Crutzen ao propor explicitamente o termo Antropoceno como unidade de tempo geológico desconsiderou os procedimentos formais perante a Comissão Internacional de Estratigrafia (*International Commission of Stratigraphy, ICS*), que são obrigatórios para a inclusão na Escala de Tempo Geológica Internacional (ETGI).<sup>32,60-62</sup> A ICS é o maior e mais antigo órgão científico da União Internacional de Ciências Geológicas (*International Union of Geological Sciences, IUGS*) e tem por tarefa a definição de um conjunto único e hierárquico de unidades cronoestratigráficas globais com limites precisamente definidos que possam ser relacionados o mais amplamente possível e com isso definir as unidades da ETGI (Figura 6).<sup>29,37,61</sup> Posteriormente, a ICS ao se basear em uma visão geral das evidências vislumbrou que o termo Antropoceno possui “mérito estratigráfico” a ser considerado para uma eventual formalização, com isso criando em 2009 o Grupo de Trabalho do Antropoceno (*Anthropocene Working Group, AWG*).<sup>60</sup>

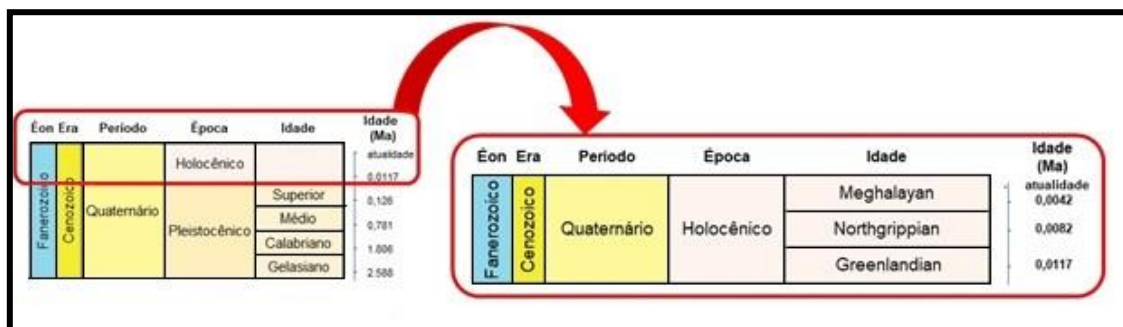


Figura 6. Escala de Tempo do Quaternário (ETQ) conforme a ICS/IUGS e adaptado de Silva e colaboradores.<sup>41</sup>

O AWG vem desenvolvendo uma definição geológica do Antropoceno baseada na “primeira aparição sincrônica da influência transformadora dos seres humanos nos processos químicos, físicos e biológicos em escala global”.<sup>60-62</sup> Conforme minuciosamente relatado por Silva *et al.*,<sup>41</sup> com a nova

subdivisão do Holeceno realizada em julho de 2018 o Antropoceno como nova Época geológica deverá necessariamente ter seu início formal, reconhecido pelo AWG, entre o evento que iniciou a Idade *Meghalayan* em 4,2 ka BP (4200 anos antes do presente) e a atualidade (Figura 7).<sup>60,63</sup>

| Éon         | Era       | Período     | Época       | Idade         | Idade (Ma) |
|-------------|-----------|-------------|-------------|---------------|------------|
| Fanerozoico | Cenozoico | Quaternário | Antropoceno | A definir     | ?          |
|             |           |             | Holocênico  | Meghalayan    | 0,0042     |
|             |           |             |             | Northgrippian | 0,0082     |
|             |           |             |             | Greenlandian  | 0,0117     |

**Figura 7.** Sugestão do AWG para inclusão do Antropoceno como Época geológica. Adaptado de Silva *et al.*, e Zalasiewicz e colaboradores<sup>41,60</sup>

Para que o Antropoceno seja formalizado é necessário que a ICS indique e aprove, com uma posterior ratificação da IUGS, a sua “data de nascimento” ou o “Ano Zero do Antropoceno”. Tradicionalmente, Épocas dentro do Fanerozoico são definidas pela utilização de Seções de Estratificação de Limite Global e Ponto (GSSP).<sup>27-30,35-37,41,60-62,64-</sup>

<sup>71</sup> Um GSSP é uma referência física (*golden spike*) localizada dentro de uma seção estratigráfica formada ao longo do tempo (rocha, gelo glacial, sedimento) que registra um fenômeno crítico de grandes transições na história geológica da Terra, geralmente bioestratigráficas (Figura 8).<sup>35,60,68,72</sup>



**Figura 8.** Exemplo de *golden spike* localizado em uma camada particular de rocha. Adaptado de Revkin<sup>72</sup>

Um GSSP elegível para servir como *golden spike* do Antropoceno precisa, necessariamente, possuir o peso das

evidências e atender à múltiplos critérios geológicos, como aqueles compilados na Tabela 6.<sup>65,68,71</sup>

**Tabela 6.** Características necessárias para um *Golden Spike* do Antropoceno.

| <b>Golden Spike do Antropoceno</b> |   |
|------------------------------------|---|
| 1                                  | Um evento de correlação principal (o marcador).   |
| 2                                  | Outros marcadores secundários (estratótipos auxiliares).  |
| 3                                  | Correlação regional e global demonstrada.   |
| 4                                  | Sedimentação contínua e completa com espessura adequada acima e abaixo do marcador.   |
| 5                                  | Uma localização exata (latitude, longitude, altitude e profundidade), pois um GSSP pode estar localizado apenas em um lugar no planeta. |
| 6                                  | Ser acessível.  |
| 7                                  | Ter provisões para a conservação e proteção do GSSP.  |

Serão discutidas sucintamente algumas qualidades das TPI que poderiam legitimá-las como *golden spike* confiável do Antropoceno, conforme preconizado por Certini e Scalenghe,<sup>34</sup> assim como por alguns outros autores.<sup>30,33,37,66,67</sup>

- Algumas amostras de TPI foram datadas por <sup>14</sup>C e indicaram o início da sua pedogênese próximo à 2000 anos BP,<sup>4,5,7,10,13</sup> o que as tornariam cronologicamente aceitáveis como marcadoras do início do Antropoceno (Tabela 6), pois estariam situadas após o evento que deu origem à Idade *Meghalayan* em 4,2 ka BP (Figura 6).<sup>34,41</sup> Além disso, abrangeriam uma extensão de milhares de quilômetros quadrados (0,1 à 0,3 % da Região Amazônica),<sup>4</sup> conferindo com isso um caráter regional amplo (Tabela 6).<sup>30</sup>

- Os solos arqueológicos como um todo são mais extensos e permanentes do que os lençóis de gelo e as calotas das regiões polares, que inclusive podem deixar de existir por conta do aquecimento global.<sup>28,30,31,33-36</sup>

- Foram observados solos muito semelhantes enriquecidos com carvão e, aparentemente, contemporâneos das TPI em diversas partes do mundo, com destaque para as provisoriamente nomeadas *Terra Preta Australis* (Figura 9).<sup>10,30,34,73-76</sup>

- Assim como anteriormente observado neste estudo (Tabelas 2, 3 e 4), as TPI refletem em suas propriedades morfológicas e pedológicas/química os impactos ambientais e intervenções antrópicas pré-Colombianas.<sup>30,34</sup>

- As TPI agem como depósitos recalcitrantes de artefatos que testemunham o predomínio das atividades humanas.<sup>30,34,37</sup> Isto é corroborado pela presença de materiais líticos, fragmentos cerâmicos e de carvões nos horizontes Antrópicos das TPI deste estudo (Tabela 2).

- As TPI apresentam acúmulo de argila em profundidade ou cimentação de camadas de solo por óxidos de silício ou de ferro que podem proporcionar proteção às mudanças climáticas ou calamidades naturais.<sup>34</sup> Tais processos pedogênicos foram evidenciados nas TPI deste estudo (Tabelas 3 e 5).

- A presença de artefatos humanos; restos de animais e plantas; enriquecimento antrópico da composição química das TPI (com destaque para o fósforo e a matéria orgânica do solo) podem agir como marcadores secundários ou potenciais estratótipos auxiliares (Tabela 6).<sup>30,67,68</sup>



**Figura 9.** Localização de TPI na Região Amazônica (em verde) e solos “similares” às TPI ao redor do mundo (em vermelho)

A despeito do mostrado anteriormente, a hipótese elaborada por Certini e Scalenghe que o Antropoceno teria iniciado em 2000 anos BP,<sup>34</sup> como consequência da alteração da superfície da Terra por civilizações humanas, e usando solos antropogênicos como *Golden Spikes* foi extremamente criticada pela comunidade científica internacional.<sup>33-36,66-69</sup> As principais críticas serão discutidas brevemente a seguir:

Primeiramente, conforme demonstrado na Tabela 6, todo *Golden spike* deve possuir uma correlação global, isto é, deve ser reconhecível fora da localidade do GSSP.<sup>35,66,68</sup> Contudo, Certini e Scalenghi ao afirmarem que as TPI são encontradas também em outras regiões do planeta (Figura 8),<sup>30,34</sup> além da Região Amazônica, cometeram uma significativa imprecisão, pois os poucos estudos que fazem menção à existência de solos semelhantes às TPI fora da América do Sul são cientificamente precavidos e alegam que são solos antrópicos “análogos” ou “semelhantes” às TPI e que os seus respectivos processos pedogênicos precisam ser melhor estudados e compreendidos para que seja reconhecido até que ponto as semelhanças persistem.<sup>10,73-76</sup> Logo, até que se prove o contrário, as TPI são valiosos marcadores do início do impacto das

atividades humanas pré-Colombianas limitadas à Região Amazônica somente, o que inviabiliza o seu uso como *Golden spike* do Antropoceno.

Em segundo lugar, as TPI não apresentam um início e desenvolvimentos pedogênicos fixos e sincrônicos ao longo da Região Amazônica, podendo variar entre 2000 à 500 anos BP,<sup>4,5,7,10,13</sup> refletindo que a disseminação de técnicas agrícolas para a criação de solos cultivados na região foi um processo historicamente lento, não linear e notadamente diacrônico, o que exclui seu uso como GSSP.<sup>68</sup> Portanto, a data proposta de início do Antropoceno em 2000 anos BP tendo por base a formação inicial das TPI seria extremamente arbitrária e sem embasamento científico adequado.<sup>35,36,66-69</sup>

Finalmente, as TPI possuem baixos potenciais de preservações estratigráficas por estarem situadas em um sistema natural e aberto altamente favorável à intemperização dos solos, proporcionando com isso a erosão ao invés da sedimentação, o que propiciaria a formação de significativas lacunas nas camadas estratigráficas. Logo, tornam-se ainda produtos do contínuo desenvolvimento de processos pedogênicos complexos, quer sejam aqueles influenciados pela ação

humana contemporânea (cultivo de culturas agrícolas pela população local – Figura 2), quer sejam aqueles proporcionados pela bioturbação proporcionada pela fauna do solo.<sup>30,35,67</sup>

#### 4. Conclusões

As Terras Pretas de Índio localizadas em Rio Preto da Eva (AM) apresentaram características morfológicas, físicas e químicas distintas daquelas apresentadas por Argissolos típicos do Estado do Amazonas. Embora as duas áreas de Terra Preta de Índio estejam localizadas próximas uma da outra, apresentaram uma grande variabilidade em diversas características pedológicas podendo ser atribuído à intencionalidade ou às diferenças na densidade populacional dos antigos habitantes pré-Colombianos que ocuparam a região.

Os Argissolos avaliados são influenciados apenas por processos pedogênicos típicos da Região Amazônica, com ênfase no intemperismo. Por sua vez, as Terras Pretas de Índio são resultado da ação concorrente e sinérgica entre os processos pedogênicos e antrópicos.

A existência das Terras Pretas de Índio mesmo após centenas, ou milhares, de anos após a sua criação é uma prova inequívoca que a melhoria de solos tropicais altamente intemperizados é possível. Contudo, embora estes solos arqueológicos sejam reconhecidos como excelentes marcadores ambientais do início dos impactos das atividades humanas pré-Colombianas na Região Amazônica, não possuem as qualidades necessárias para serem elegíveis como GSSP ou *Golden Spikes* do Antropoceno.

#### Agradecimentos

À Alessandro Alves de Brito (*in memoriam*) pelo auxílio na confecção de mapas.

#### Referências Bibliográficas

- <sup>1</sup> Kern, D. C.; Kampf, N. Antigos Assentamentos Indígenas na Formação de Solos com Terra Preta Arqueológica na região de Oriximiná, Pará. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **1989**, *13*, 219. [Link]
- <sup>2</sup> Costa, M. L.; KERN, D. C. Geochemical signatures of tropical soils with archaeological black earth in the Amazon, Brazil. *Journal of Geochemical Exploration* **1999**, *66*, 369. [CrossRef]
- <sup>3</sup> Kampf, N.; Kern, D. C. O Solo como Registro da Ocupação Humana Pré-Histórica na Amazônia. *Tópicos em Ciência do Solo* **2005**, *IV*, 277. [Link]
- <sup>4</sup> Soares, R.; *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal Fluminense, Brasil, 2007. [Link]
- <sup>5</sup> Madari, B. E.; Cunha, T. J. F.; Soares, R. Organic matter of the Anthropogenic Dark Earths of Amazônia. *Dynamic Soil, Dynamic Plant* **2011**, *5*, 21. [Link]
- <sup>6</sup> Campos, M. C. C.; Santos, L. A. C.; Silva, D. M. P.; Mantovanelli, B. C.; Soares, M. D. R. Caracterização física e química de terras pretas arqueológicas e de solos não antropogênicos na região de Manicoré, Amazonas. *Revista Agro@ambiente On-line* **2012**, *6*, 102. [CrossRef]
- <sup>7</sup> Glaser, B.; Birk, J. J. State of the scientific knowledge on properties and genesis of Anthropogenic Dark Earths in Central Amazonia (terra preta de índio). *Geochimica et Cosmochimica Acta* **2012**, *82*, 39. [CrossRef]
- <sup>8</sup> Jorio, A.; Ribeiro-Soares, J.; Cançado, L. G.; Falcão, N. P. S.; Santos, H. F.; Baptista, D. L.; Ferreira, H. M.; Archanjo, B. S.; Achete, C. A. Microscopy and spectroscopy analysis of carbon nanostructures in highly fertile Amazonian anthrosoils. *Soil & Tillage Research* **2012**, *122*, 61. [CrossRef]
- <sup>9</sup> Moline, E. F. V.; Coutinho, E. L. M. Atributos químicos de solos da Amazônia Ocidental após sucessão da mata nativa em áreas de cultivo. *Revista Ciências Agrárias* **2015**, *58*, 14. [CrossRef]

- <sup>10</sup> Wiedner, K.; Schneeweiß, J.; Dippold, M. A.; Glaser, B. Anthropogenic Dark Earth in Northern Germany — The Nordic Analogue to Terra Preta de Índio in Amazonia. *Catena* **2015**, *132*, 114. [[CrossRef](#)]
- <sup>11</sup> Soares, M. D. R.; Campos, M. C. C.; Souza, Z. M.; Brito, W. M.; Franscison, U.; Castioni, G. A. F. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo em área de Terra Preta Arqueológica sob pastagem em Manicoré, AM. *Revista Ciências Agrárias* **2015**, *58*, 434. [[CrossRef](#)]
- <sup>12</sup> Chagas, L. F. B.; Falcão, N. P. S.; Padilha, F. J.; Oliveira, D. M.; Guimarães, R. S.; Campos, D. V. B.; Walverde, E. M.; Ferreira, P. H. Z.; Soares, R. Avaliação do Impacto do Cultivo de Citros sobre os Estoques de Carbono e Nitrogênio das Frações Leves da Matéria Orgânica de Solos Antrópicos (Terras Pretas de Índio) e Solos Adjacentes. *Revista Virtual de Química* **2017**, *9*, 2067. [[CrossRef](#)]
- <sup>13</sup> Mello, M. L. V.; Soares, R. Matéria orgânica em solos arqueológicos Amazônicos: Uma revisão. *Diversidade & Gestão* **2017**, *1*, 189. [[Link](#)]
- <sup>14</sup> Padilha, F. J.; Silva, M. S.; Guimarães, R. S.; Cedano, J. C. C.; Oliveira, D. M.; Damaceno, J. B. D.; Achete, C. A.; Falcão, N. P. S. Uso da Espectroscopia Raman e FT-IR na Caracterização do Biocarvão em Latossolo Amarelo da Amazônia Central. *Revista Virtual de Química* **2017**, *9*, 1996. [[CrossRef](#)]
- <sup>15</sup> Guimarães, R. S.; Padilha, F. J.; Cedano, J. C. C.; Damaceno, J. B. D.; Gama, R. T.; de Oliveira, D. M.; Teixeira, W. G.; Falcão, N. P. S. Efeito Residual de Biocarvão e Pó de Serra nos Teores de Carbono e Nitrogênio Total em Latossolo Amarelo na Amazônia. *Revista Virtual de Química* **2017**, *9*, 1996. [[CrossRef](#)]
- <sup>16</sup> Macedo, R. S.; Teixeira, W. G.; Correa, M. M.; Martins, G. C.; Vidal-Torrado, P. Pedogenetic process in anthrosols with preitic horizon (Amazonian Dark Earth) in Central Amazon, Brazil. *PLoS ONE* **2017**, *12*, 1. [[CrossRef](#)]
- <sup>17</sup> Santos, L. A. C.; Araujo, J. K. S.; Souza, V. S.; Campos, M. C. C.; Correa, M. M.; Souza, R. A. S. Pedogenesis in na Archaeological Dark Earth – Mulatto Earth Catena over Vulcanic Rocks in Western Amazonia, Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2018**, *42*, 1. [[CrossRef](#)]
- <sup>18</sup> Santos, L. A.; Campos, M. C. C.; Aquino, R. E.; Bergamin, A. C.; Silva, D. M. P.; Junior, J. M.; França, A. B. C. Caracterização física de seis sítios de terras pretas arqueológicas na região de Apuí-AM. *Revista Verde* **2011**, *6*, 167. [[Link](#)]
- <sup>19</sup> Santos, L. A.; Campos, M. C. C.; Aquino, R. E.; Bergamin, A. C.; Silva, D. M. P.; Junior, J. M.; França, A. B. C. Caracterização de terras pretas arqueológicas no sul do estado do Amazonas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2013**, *37*, 825. [[CrossRef](#)]
- <sup>20</sup> Campos, M. C. C.; Ribeiro, M. R.; Júnior, V. S. S.; Filho, M. R. R.; Souza, R. V. C. C.; Almeida, M. C. Caracterização e classificação de terras pretas arqueológicas na Região do Médio Rio Madeira. *Bragantia* **2011**, *70*, 598. [[CrossRef](#)]
- <sup>21</sup> Campos, M. C.; Ribeiro, M. R.; Souza, V. S.; Filho, M. R.; Almeida, M. C. Relações Solo-Superfície Geomórfica em uma Topossequência Várzea-Terra Firme na Região de Humaitá (AM). *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2012**, *36*, 325. [[CrossRef](#)]
- <sup>22</sup> Costa, A. R.; Junior, M. L.; Kern, D. C.; Ruivo, M. L. P.; Marichal, R. Forms of soil organic phosphorus at black earth sites in the Eastern Amazon. *Revista Ciência Agronômica* **2017**, *48*, 1. [[CrossRef](#)]
- <sup>23</sup> Silva, A. K.; Guimarães, J. T. F.; Lemos, V. P.; Costa, M. L.; Kern, D. C. Mineralogia e geoquímica de perfis de solo com Terra Preta Arqueológica de Bom Jesus do Tocantins, sudeste da Amazônia. *Acta Amazonica* **2012**, *42*, 477. [[CrossRef](#)]
- <sup>24</sup> Cunha, T. J. F.; Madari, B. E.; Canellas, L. P.; Ribeiro, L. P.; Benites, V. M.; Santos, G. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2009**, *3*, 85. [[CrossRef](#)]
- <sup>25</sup> Lemos, V. P.; Meireles, A. R. O.; Fernandes, K. G.; Moraes, M. C.; Costa, M. L.; Silva, A. K. T.; Kern, D. C. Nutrients in Amazonian Black Earth from Caxiuanã Region. *Journal Brazilian Chemical Society* **2011**, *22*, 772. [[CrossRef](#)]

- <sup>26</sup> Junqueira, A. B.; Stomph, T. J.; Clement, C. R.; Struik, P. C. Variation in soil fertility influences cycle dynamics and crop diversity in shifting cultivation systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **2016**, *215*, 122. [[CrossRef](#)]
- <sup>27</sup> Junqueira, A. B.; Souza, N. B.; Stompha, T.J.; Almekinders, C.J.M.; Clementc, C R.; Struika P.C. Centre for Crop Systems. Soil fertility gradients shape the agrobiodiversity of Amazonian homegardens. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **2016**, *221*, 270. [[CrossRef](#)]
- <sup>28</sup> Clement, C. R.; Denevan, W.M.; Heckenberger, M.J.; Junqueira, A.B.; Neves, E. G.; Teixeira, W.G.; Woods, W. I. The domestication of Amazonia before European conquest. *Proceedings of the Royal Society B* **2015**, *282*, 1. [[CrossRef](#)]
- <sup>29</sup> Certini, G.; Scalenghe, R. Is the Anthropocene really worthy of a formal geologic definition? *The Anthropocene Review* **2015**, *2*, 77. [[CrossRef](#)]
- <sup>30</sup> Silva, C. M.; Arbilla, G. Antropoceno: Desafios de um novo mundo. *Revista Virtual de Química* **2018**, *10*, 1619. [[CrossRef](#)]
- <sup>31</sup> Certini, G.; Scalenghe, R. Anthropogenic soils as marker. *Encyclopedia of the Anthropocene* **2018**, *2*, 129. [[CrossRef](#)]
- <sup>32</sup> Crutzen, P. J.; Stoermer, E. F. The Anthropocene. *Global Change Newsletter* **2000**, *41*, 17. [[Link](#)]
- <sup>33</sup> Crutzen, P. J. Geology of mankind. *Nature* **2002**, *415*, 23. [[CrossRef](#)]
- <sup>34</sup> Smith, B. D.; Zeder, M. A. The onset of the Anthropocene. *Anthropocene* **2013**, *4*, 8. [[CrossRef](#)]
- <sup>35</sup> Certini, G.; Scalenghe, R. Anthropogenic soils are the golden spikes for the Anthropocene. *The Holocene* **2011**, *21*, 1269. [[CrossRef](#)]
- <sup>36</sup> Gale, S. J.; Hoare, P. G. The stratigraphic status of the Anthropocene. *The Holocene* **2012**, *22*, 1491. [[CrossRef](#)]
- <sup>37</sup> Zalasiewicz, J.; Waters, C. N.; Williams, M.; Barnosky, A. D.; Cearreta, A.; Crutzen, P.; Ellis, E.; Ellis, M. A.; Fairchild, I. J.; Grinevald, J.; Haff, P. K.; Hajdas, I.; Leinfelder, R.; McNeill, J.; Odada, E. O.; Clement, P.; Richter, D.; Steffen, W.; Summerhayes, C.; Syvitski, J. P. M.; Vidas, D.; Wagreich, M.; Wing, S. L.; Wolfe, A. P.; Zhisheng, A.; Oreskes, N. When did the Anthropocene begin? A mid-twentieth century boundary level is stratigraphically optimal. *Quaternary International* **2015**, *383*, 196. [[CrossRef](#)]
- <sup>38</sup> Erlandson, J. M. Shell middens and other anthropogenic soils as global stratigraphic signatures of the Anthropocene. *Anthropocene* **2013**, *4*, 24. [[CrossRef](#)]
- <sup>39</sup> Ruddiman, W. F. The Anthropogenic Greenhouse Era Began Thousands of Years Ago. *Climatic Change* **2003**, *61*, 261. [[CrossRef](#)]
- <sup>40</sup> Ellis, E.; Maslin, M.; Boivin, N.; Bauer, A. Involve social scientists in defining the Anthropocene. *Nature* **2016**, *540*, 192. [[CrossRef](#)]
- <sup>41</sup> Brasil. Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL, folha SB. 20, Purus. Rio de Janeiro, 1978.
- <sup>42</sup> Silva, C. M.; Arbilla, G.; Soares, R.; Machado, W. A nova idade *Meghalayan*: O que isso significa para a Época do Antropoceno? *Revista Virtual de Química* **2018**, *10*, 1648. [[CrossRef](#)]
- <sup>43</sup> Aquino, R. E.; Marques, J.; Campos, M. C. C.; Oliveira, I. A.; Bahia, A. S. R. S.; Santos, L. A. C. Characteristics of color and iron oxides of clay fraction in Archeological Dark Earth in Apuí region, southern Amazonas. *Geoderma* **2016**, *262*, 35. [[CrossRef](#)]
- <sup>44</sup> Centro de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM.; *Hidroclimatologia, geologia, recursos minerais, geomorfologia e unidades de paisagens*. Manaus, 2001.
- <sup>45</sup> Centro de Pesquisa de Recursos Minerais/ Serviço Geológico do Brasil – CPRM. *Geodiversidade do estado do Amazonas – Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade*. Manaus, 2010. [[Link](#)]



- <sup>46</sup> Santos, R. D.; Lemos, R. C.; Santos, H. G.; Anjos, L. H.; *Manual de descrição e coleta de solos no campo*. 5a ed., SBCS: Viçosa, 2005.
- <sup>47</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos, Brasília, 2006.
- <sup>48</sup> Souza, L. C.; Lima, H. V.; Rodrigues, S.; Kern, D. C.; Silva, A. P.; Piccinin, J. L.; *Chemical and physical properties of an anthropogenic dark Earth soil from Bragança, Pará, Eastern Amazon*. *Acta Amazônica* **2016**, *46*, 337. [[CrossRef](#)]
- <sup>49</sup> Teixeira, P. C.; Donagemma, G. K.; Fontana, A.; Teixeira, W. G.; *Manual de métodos de análises químicas de solos*. 3a ed., Embrapa: Brasília, 2017. [[Link](#)]
- <sup>50</sup> Soares, R.; Escaleira, V.; Monteiro, M. I. C.; Pontes, F. V. M.; Santelli, R. E.; Bernardi, A. C. C. Uso de ICP OES e titrimetria para a determinação de cálcio, magnésio e alumínio em amostras de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2010**, *34*, 1553. [[CrossRef](#)]
- <sup>51</sup> Soares, R.; Escaleira, V.; Monteiro, M. I. C.; Santelli, R. E.; Bernardi, A. C. C. Comparação de métodos convencional e alternativo para determinação de sódio, potássio e fósforo em extratos de solos obtidos com solução Mehlich-1. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2012**, *36*, 105. [[CrossRef](#)]
- <sup>52</sup> Soares, R.; Escaleira, V.; Monteiro, M. I. C.; Santelli, R. E.; Bernardi, A. C. C. Comparação de métodos convencional e alternativo para determinação de Cu, Fe, Mn e Zn em extratos de solos obtidos com solução Mehlich-1. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2013**, *37*, 707. [[CrossRef](#)]
- <sup>53</sup> Souza, K. W.; Lima, H. N.; Schaefer, C. E. G. R.; Teixeira, W. G.; Pulrolnik, K.; Corrêa, G. R. Phosphorous forms in cultivated indian black earth (anthrosols) of varying texture in the Brazilian Amazon. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2009**, *33*, 1347. [[CrossRef](#)]
- <sup>54</sup> Lima, H. N.; Schaefer, C. E. R.; Mello, J. W. V.; Gilkes, R. J.; Ker, J. C. Pedogenesis and pre-Colombian land use of “Terra Preta Anthrosols” (“Indian black earth”) of Western Amazonia. *Geoderma* **2002**, *110*, 1. [[CrossRef](#)]
- <sup>55</sup> Moreau, A. M. S. S.; Ker, J. C.; Costa, L. M.; Gomes, F. H. Caracterização de solos de duas toposequências em tabuleiros costeiros do sul da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2006**, *30*, 1007. [[CrossRef](#)]
- <sup>56</sup> Vasconcelos, B. N. F.; Ker, J. C.; Gonçalves, C. E.; Schaefer, R.; Poirier, A. P. P.; Andrade, F. V. Antropossolos em sítios arqueológicos de ambiente cárstico no norte de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2013**, *37*, 986. [[CrossRef](#)]
- <sup>57</sup> Araújo, S. R.; Soderstrom, M.; Eriksson, J.; Isendahl, C.; Stenborg, P.; Dematte, J. A. M. Determining soil properties in Amazonian Dark Earths by reflectance spectroscopy. *Geoderma* **2015**, *267*, 308. [[CrossRef](#)]
- <sup>58</sup> Silva, F. W. R.; Lima, H. N.; Teixeira, W. G.; Motta, M. B.; Santana, R. M. Caracterização química e mineralogia de solos antrópicos (Terras Pretas de Índio) na Amazônia Central. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* **2011**, *35*, 673. [[CrossRef](#)]
- <sup>59</sup> Kern, D. C.; Lima, H. P.; Costa, J. A.; Lima, H. V.; Ribeiro, A. B.; Moraes, B. M.; Kampf, N. Terras pretas: Approaches to formation processes in a new paradigm. *Geoarchaeology* **2017**, *32*, 1. [[CrossRef](#)]
- <sup>60</sup> Hughes, R. F.; Kauffman, J. B.; Cummings, D. L. Dynamics of Aboveground and Soil Carbon and Nitrogen Stocks and Cycling of Available Nitrogen along a Land-use Gradient in Rondônia, Brazil. *Ecosystems* **2002**, *5*, 244. [[CrossRef](#)]
- <sup>61</sup> Zalasiewicz, J.; Waters, C. N.; Summerhayes, C. P.; Wolfe, A. P.; Barnosky, A. D.; Cearreta, A.; Crutzen, P.; Ellis, E.; Fairchild, I. A.; Gałuszka, A.; Haff, P.; Hajdas, P.; Head, M. J.; Sul, J. A. I.; Jeandel, C.; Leinfelder, J. R.; McNeill, J. H.; Neal, C.; Odada, E.; Oreskes, N.; Steffen, W.; Syvitski, J.; Vidas, D.; Wagreich, M.; Williams, M. The Working Group on the Anthropocene: Summary of evidence and interim Recommendations. *Anthropocene* **2017**, *19*, 55. [[CrossRef](#)]
- <sup>62</sup> Finney, S. C.; Edwards, L. E. The “Anthropocene” epoch: Scientific decision or political statement? *GSA Today* **2016**, *3*, 4. [[CrossRef](#)]

- <sup>63</sup> Waters, C. N.; Zalasiewicz, J.; Summerhayes, C.; Fairchild, I. J.; Rose, N. L.; Loader, N. J.; Shotyk, W.; Cearreta, A.; Head, M. J.; Syvitski, J. P. M.; Williams, M.; Wapreisch, M.; Barnosky, A. D.; Zhisheng, A.; Leinfelder, R.; Jeandel, C.; Gałuszka, A.; Sul, J. I.; Gradstein, F.; Steffen, W.; McNeill, J. R.; Poirier, C.; Edgeworth, M. Global Boundary Stratotype Section and Point (GSSP) for the Anthropocene Series: Where and how to look for potential candidates. *Earth-Science Reviews* **2018**, *178*, 379. [CrossRef]
- <sup>64</sup> Malhi, Y. The Concept of the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources* **2017**, *42*, 77. [CrossRef]
- <sup>65</sup> Lewis, S.; Maslin, M. A. Geological evidence for the Anthropocene. *Science* **2015**, *349*, 17. [CrossRef]
- <sup>66</sup> Lewis, S.; Maslin, M. A. A transparent framework for defining the Anthropocene Epoch. *The Anthropocene Review* **2015**, *2*, 1. [CrossRef]
- <sup>67</sup> Gibbard, P. L.; Walker, M. J. C. The term 'Anthropocene' in the context of formal geological classification. *A Stratigraphical Basis for the Anthropocene* **2013**, *395*, 29. [CrossRef]
- <sup>68</sup> Edgeworth, M.; Richter, D.; Waters, C. N.; Haff, P.; Neal, C.; Price, S. J. Diachronous beginnings of the Anthropocene: The lower bounding surface of anthropogenic deposits. *The Anthropocene Review* **2015**, *2*, 33. [CrossRef]
- <sup>69</sup> Lewis, S.; Maslin, M. A. Defining the Anthropocene. *Nature* **2015**, *519*, 171. [CrossRef]
- <sup>70</sup> Waters, C. N.; Zalasiewicz, J. A.; Williams, M.; Ellis, M. A.; Snelling, A. M. A stratigraphical basis for the Anthropocene? *Geological Society* **2014**, *395*, 1. [CrossRef]
- <sup>71</sup> Walker, M.; Johnsen, S.; Rasmussen, S. O.; Popp, T.; Steffensen, J.-P.; Gibbard, P.; Hoek, W.; Lowe, J.; Andrew, J.; Bjorck, S.; Cwynar, L. C.; Hughen, K.; Kershaw, P.; Kromer, B.; Litt, T.; Lowe, D. J.; Nakagawa, T.; Newnham, R.; Schwander, J. Formal definition and dating of the GSSP (Global Stratotype Section and Point) for the base of the Holocene using the Greenland NGRIP ice core, and selected auxiliary records. *Journal of Quaternary Science* **2009**, *24*, 3. [CrossRef]
- <sup>72</sup> Lewis, S.; Maslin, M. A.; *The human planet: How we created the Anthropocene*, Pelican Books: Londres, 2018.
- <sup>73</sup> Does the Anthropocene, the Age of Humans, Deserve a Golden Spike? Disponível em: <<https://dotearth.blogs.nytimes.com/2014/10/16/does-the-anthropocene-the-age-of-humans-deserve-a-golden-spike>> Acesso em 01 setembro 2018.
- <sup>74</sup> Downie, A. E.; Zwieter, L.; Smernik, R. J.; Morris, S.; Munroe, P. R. Terra Preta Australis: Reassessing the carbon storage capacity of temperate soils. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **2011**, *40*, 137. [CrossRef]
- <sup>75</sup> Sheil, D.; Basuki, I.; German, L.; Kuyper, T. W.; Limberg, G.; Puri, R. K.; Sellato, B.; Noordwijk, M.; Wollenberg, E. Do Anthropogenic Dark Earths Occur in the Interior of Borneo? Some Initial Observations from East Kalimantan. *Forests* **2012**, *3*, 207. [CrossRef]
- <sup>76</sup> Fraser, J. A.; Leach, M.; Fairhead, J. Anthropogenic Dark Earths in the Landscapes of Upper Guinea, West Africa: Intentional or Inevitable? *Annals of the Association of American Geographers* **2014**, *104*, 1222. [CrossRef]
- <sup>77</sup> Devos, Y.; Vrydaghs, L.; Degraeve, A.; Fechner, K. An archaeopedological and phytolitarian study of the "Dark Earth" on the site of Rue de Dinant (Brussels, Belgium). *Catena* **2009**, *78*, 270. [CrossRef]