

ACÚMULO DE CARBONO E MERCÚRIO REGISTRADOS EM TURFEIRA TROPICAL ALTO MONTANA, PICO ARAÇATUBA- TIJUCAS DO SUL-PR

Lúcio Fábio Lourençato^{1*}, Andressa Cristhy Buch¹, Marcelo Correa Bernardes², Emmanoel Vieira Silva-Filho²

¹ Pesquisadores Pós-doutores do Programa de Pós-Graduação de Geoquímica Ambiental da Universidade Federal Fluminense

² Docente do Programa de Pós-Graduação de Geoquímica Ambiental da Universidade Federal Fluminense, Niterói-RJ;

^{1,2} Departamento de Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Outeiro São João Batista, s/n., Centro, 24020-141, Niterói, RJ, Brasil.

*E-mail: lucioflouren@hotmail.com

RESUMO

Atualmente a extensão de turfeiras no mundo é de 400 milhões de ha, sendo que no Brasil correspondem a uma área de aproximadamente 600 mil ha. Este montante está sendo cada vez mais reduzido devido à forte degradação destes compartimentos ambientais. A importância das turfeiras não se limita apenas em abrigar específicos nichos ecológicos, mas também está associada a prestação de serviços ambientais incalculáveis. Dentre eles estão à alta estocagem de carbono e o aporte para o ciclo deste elemento e de outros elementos-traço depositados via atmosfera. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar o acúmulo de matéria orgânica e elementos traço em testemunhos de turfeiras no Pico do Araçatuba, Paraná-Br. O carbono orgânico total médio (COT) foi no Pico do Araçatuba foi 25,2% ($\pm 5,3$). Possivelmente elevados valores de COT obtidos no presente estudos podem estar relacionados com o clima da região sul que apresenta baixas temperaturas media e elevados índices pluviométricos. As concentrações de Hg variaram de 109 a 590 ng g⁻¹ com uma média de 323 ± 112 ng g⁻¹. Na parte inferior do testemunho, abaixo dos 85 cm (período anterior a 1972), as concentrações foram relativamente menores, com um aumento da concentração até 1979, e uma posterior redução até 1987. Após 1987 a concentração de mercúrio apresentou um novo aumento até atingir a máxima concentração no ano de 2000, voltando a reduzir até o presente. As avaliações realizadas nas turfeiras do Morro do Araçatuba mostraram que estes ambientes possuem elevada teores de COT e portanto servem como verdadeiros estoques de carbono, a além de também possuem papel importante na ciclagem e no registro ao longo do tempo de acúmulo de elementos traços oriundos da atmosfera.

Palavras-chave: Metais traço; Organossolos; Taxa de sedimentação; Turfeira Tropical;

1. INTRODUÇÃO

Turfeiras são solos ricos em matéria orgânica muitas vezes classificados como Organossolos, também conhecidos como solos de turfa, são considerados como pouco evoluídos e resultam da acumulação de restos vegetais, em graus variáveis de decomposição, em condições de drenagem restrita (ambientes mal a muito mal drenados), ou em ambientes

úmidos de altitudes elevadas, saturados com água por apenas poucos dias durante o período chuvoso. Essa condição de anaerobiose restringe o processo de mineralização da matéria orgânica e limita o processo pedogenético, conduzindo a uma acumulação de matéria orgânica. Essa acumulação por sua vez, pode ser favorecida também por condições de baixas temperaturas que reduzem a atividade biológica (Santos et al., 2013).

Globalmente, as turfeiras cobrem cerca de 4 milhões de km² (400 Mha), equivalentes a 4,2% da superfície terrestre da Terra e contêm 10 a 30% do carbono terrestre global (Yu, 2012). A maior parte dessa quantidade (75-80% das turfeiras) está localizada nas regiões boreais e subárticas e apenas 10-15% nas regiões tropicais (Lappalainen, 1996). Existem aproximadamente 612.000 ha ou 0,07% de turfeiras no Brasil (Bispo et al., 2015), desse percentual 3,41% são encontrados no estado do Rio de Janeiro (Pereira et al., 2005). As turfeiras tropicais podem armazenar 10 vezes mais carbono do que nas regiões temperadas, provavelmente devido às condições ambientais dessas regiões (Page et al., 2010; Rudyanto et al., 2015).

No solo, parte do carbono presente nos resíduos de animais e vegetação se decompõe liberando para a atmosfera como CO₂, o restante torna-se parte de sua composição de matéria orgânica (por processos bioquímicos e geoquímicos), formando compostos de estruturas complexas, com enriquecimento constante de carbono fixo (Holmquist et al., 2016). A qualidade e quantidade da matéria orgânica que entra no sistema e sua taxa de decomposição são influenciadas pela interação entre as condições ambientais, como clima, composição da fauna e flora e histórico de uso da terra (Jaenicke et al., 2008). Essas interações são determinantes no balanço de carbono e no sequestro de CH₄ e CO₂ (Boothroyd et al., 2015; Olid et al., 2008). Em condições ambientais tropicais, especialmente em áreas montanhosas, como umidade excessiva, pH baixo, baixos níveis de nutrientes e falta de oxigênio, juntamente com temperaturas amenas, ocorre uma lenta mineralização da matéria orgânica devido às baixas taxas de produção primária líquida e decomposição (Vegas-Vilarrúbia et al., 2010), exibindo considerável variabilidade temporal e espacial em uma variedade de escalas (Wieder, 2001).

O aumento da temperatura é um problema global, onde a devastação pontual de ecossistemas de determinadas regiões implica efeitos especialmente nas turfeiras (Xing et al., 2015). Os fatores geológicos e pedológicos que promovem a transformação e distribuição de carbono ao longo da profundidade da turfa são controlados diretamente por fatores climáticos (Gorham et al., 2012) e certamente serão afetados com aumentos de temperatura, conforme sugerido pelo IPCC, (2014a). No Brasil, manejo do solo, como drenagem e uso intencional de incêndios como prática agrícola para a produção, associado ao intenso desmatamento, leva à oxidação da matéria orgânica e à rápida liberação de grandes quantidades de CO₂ na atmosfera, contribuindo para os processos globais de mudança climática. De acordo com o IPCC, (2014), espera-se um aumento de 3,0 a 4,5 ° C na temperatura média global do ar na superfície nas próximas oito décadas, causado principalmente pelos níveis de CO₂ na atmosfera, resultantes principalmente do uso de combustíveis fósseis e mudanças no uso da terra.

Atualmente existe uma forte demanda por estudos voltados a ecossistemas terrestres que participem ou regulem elementos químicos, tais como CO₂, mercúrio, chumbo, cádmio, entre outros, presentes na atmosfera que são nocivos ao homem e à fauna. As turfeiras dentre suas diversas funcionalidades contribuem significativamente para o sequestro de CO₂ atmosférico e sustentabilidade de outros ecossistemas como os aquíferos (Hayes; Clapp, 2001). As

turfeiras têm agido como grandes sumidouros de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) por milênios, porém também possuem um grande potencial de emitirem a atmosfera grandes quantidades de CO₂ e metano (CH₄) ou carbono dissolvido para os rios se estes ambientes vierem a ser desestabilizadas pelo aquecimento global e mudanças no uso da terra. O funcionamento das turfeiras como sumidouro depende do impacto do forçamento ambiental e antropogênico sobre o equilíbrio carbono nesses ambiente (Moore, 2002; Page et al., 2002). O carbono presente em solos turfosos apresenta cerca do triplo de todo o carbono acumulado na matéria orgânica viva da terra (Rahman et al., 2015). A emissão de carbono para a atmosfera pelo solo corresponderia a 10 vezes o carbono emitido pelo uso dos combustíveis fósseis

A deposição atmosférica de metais traços por fontes antropogênicas alcança qualquer tipo de ecossistema. Em ambientes terrestres esses elementos podem se acumular em solos e na cadeia trófica. Compreender o acréscimo e a deposição de elementos traços e suas possíveis influências em ciclos e processos biogeoquímicos são de crucial interesse pelo fato da maioria serem potencialmente tóxicos em determinados níveis de concentração (Meyer et al., 2015).

Matrizes ambientais terrestres como as turfeiras têm revelado grande aporte de elementos traços provenientes da atmosfera em escala regional e global (Rabassa et al., 2006; Shotyk et al., 1998). Dentre os elementos traço, destaca-se o mercúrio (Hg), que pode ser demasiadamente depositado em turfeiras e é correlacionado com atividades antropogênicas ao longo do tempo. O Hg foi intensivamente lançado ao ambiente em atividades garimpeiras, como ocorreu na Amazônia. Entre as estimativas, as mais citadas reportam valores da ordem de uma a duas centenas de toneladas de Hg/ano nas últimas duas décadas. Deste total, cerca de 50% são liberadas para os cursos d'água durante o processo de extração e recuperação, e o restante para a atmosfera durante os procedimentos de queima do amálgama (Mascarenhas et al., 2004). Estudos realizados por Veiga et al. (1994) sobre a presença de Hg no ambiente amazônico mostraram uma associação entre a queima de biomassa florestal e a quantidade de Hg lançadas para a atmosfera anualmente, sendo estimada em 90 toneladas por ano. Segundo estes autores este fato é responsável por uma parcela importante do Hg encontrado nos ecossistemas aquáticos. Este particular elemento traço, uma vez em ecossistemas terrestres como nos solos, pode sofrer processos como de metilação, bioacumulação e biomagnificação na cadeia trófica (Buch et al., 2017). Sendo assim o estudo tem como objetivo caracterizar turfeira do Pico do Araçatuba quanto a sua capacidade de acumular carbono e determinar o registro da deposição atmosférica do mercúrio em período recente.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Pico do Araçatuba, onde foi coletado um testemunho turfa com aproximadamente 90 cm de profundidade. O Pico do Araçatuba está localizado na escarpa da Serra do Mar Paranaense (Floresta Atlântica), município de Tijucas do Sul, Paraná-Brasil na coordenada de 25°54'07,8" Latitude e 48°56'02,0" Longitude a uma altitude de 1610 m s.n.m. e continentalidade de 43 km (Figura 1). A vegetação é constituída por floresta ombrófila densa montana e altomontana, campos de altitude e vegetação rupestre. O clima é do tipo Cfb, em razão da baixa temperatura média no mês mais quente (22°C). Na altas altitudes também apresentam maiores velocidade dos ventos, (Roderjan, 2002), que são barrados pela escarpa da Serra do Mar, que se condensam e formam uma frequente cobertura nebulosa, determinando uma precipitação superior a 3.000 mm anuais (Roderjan, 1994; Roderjan et al, 2002; Rocha, 1999).

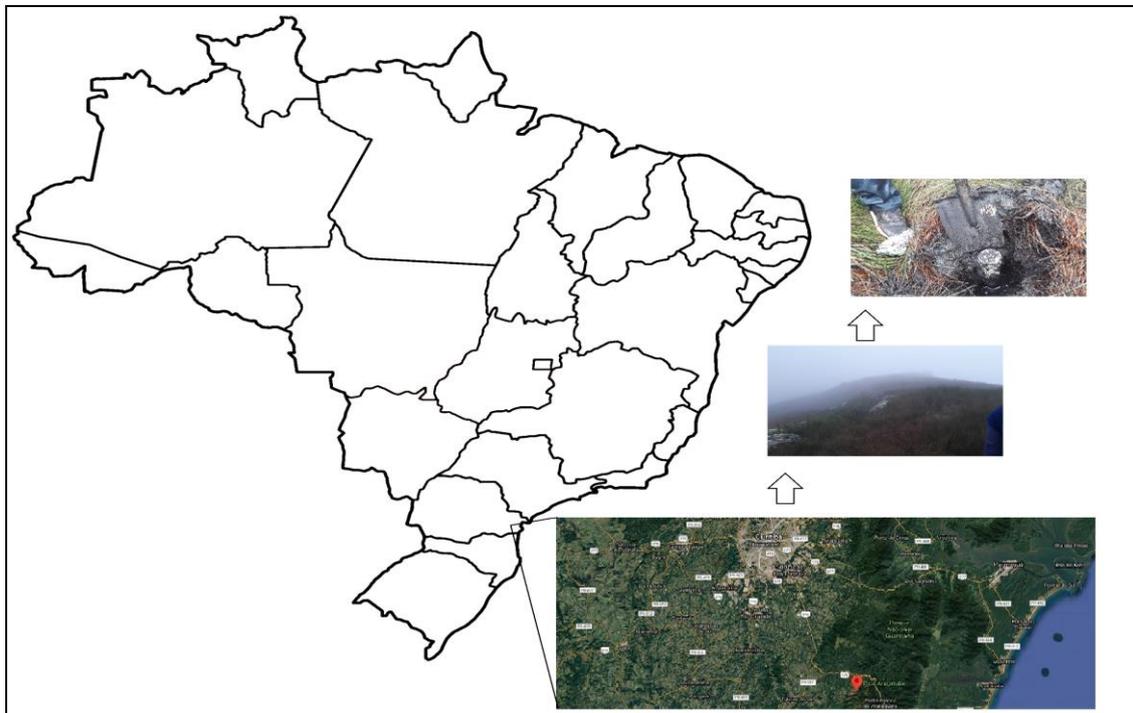


Figura 1: Área de estudo. Pico do Araçatuba, município de Tijucas do Sul, Paraná-Brasil.

Com o objetivo de obter a recente entrada de C e mercúrio na turfeira, foi utilizada a datação de ^{210}Pb . Para análises de ^{210}Pb , cerca de 0,7 g de turfa dos intervalos de 1, 5, 15 e 19 cm de profundidade, foram selados em frascos de 2 ml por pelo menos 15 dias para estabelecer o equilíbrio secular. As medidas espectrométricas gama foram realizadas usando um detector de poço de germânio de alta pureza (Canberra) alojado em uma blindagem de chumbo, acoplado a um analisador multicanal. As atividades de ^{210}Pb foram determinadas seguindo o método de Cutshall et al., (1983). As taxas de acumulação de sedimentos em amostras de turfa foram obtidas através do modelo de datação por concentração inicial constante (CIC) (Appleby e Oldfield, 1983). O modelo CIC é usado principalmente para datar sedimentos de lagos e é aplicável a outras matrizes ambientais, como turfeiras (Ali et al., 2008).

A taxa de sedimentação (SR) é calculada pela equação: $SR = \lambda / S$, onde: S é a inclinação da regressão linear da profundidade plotada contra o logaritmo do ^{210}Pb não suportado; λ é a constante de decaimento do ^{210}Pb , isto é, 0,0307.

O carbono orgânico total (COT) foi determinado por combustão a seco com um Perkin-Elmer CHNS / O Analyzer 2400. O dispositivo foi calibrado com acetanilida.

As análises de mercúrio total foram realizadas utilizando um dispositivo Lumex RA-915⁺, espectrômetro de absorção atômica com uma unidade de pirólise (RA-915M), onde a matriz das amostras foi destruída e os átomos de mercúrio foram contados na espectroscopia de absorção atômica (EPA, 2004).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na turfeira do Pico do Araçatuba, o ^{210}Pb apresenta uma diminuição exponencial relativamente bem definida com a profundidade, correspondendo a um padrão de distribuição atualmente registrado em sedimentos naturais, o que proporcionou uma equação de reta com r^2 de 0,93 (Figura 2) (Appleby e Oldfield, 1983).

A taxa média de sedimentação foi de $1,83 \text{ cm.ano}^{-1}$. Essa taxa foi muito superior as taxas de sedimentação encontradas por Lacerda et al., (2004) em lagos perenes no Parque Nacional do Itatiaia de $0,45 \text{ cm.ano}^{-1}$ e as encontradas por Lourençato et al. (2017) onde observou taxas de sedimentação de turfa de $0,26 \text{ cm.ano}^{-1}$ para o Parque Nacional de Itatiaia e de $0,37 \text{ cm.ano}^{-1}$ para o Parque da Serra dos Órgãos. Através dessa taxa de sedimentação obtida a idade do testemunho obtida foi de 1969 (ano presente) à 89 cm de profundidade.

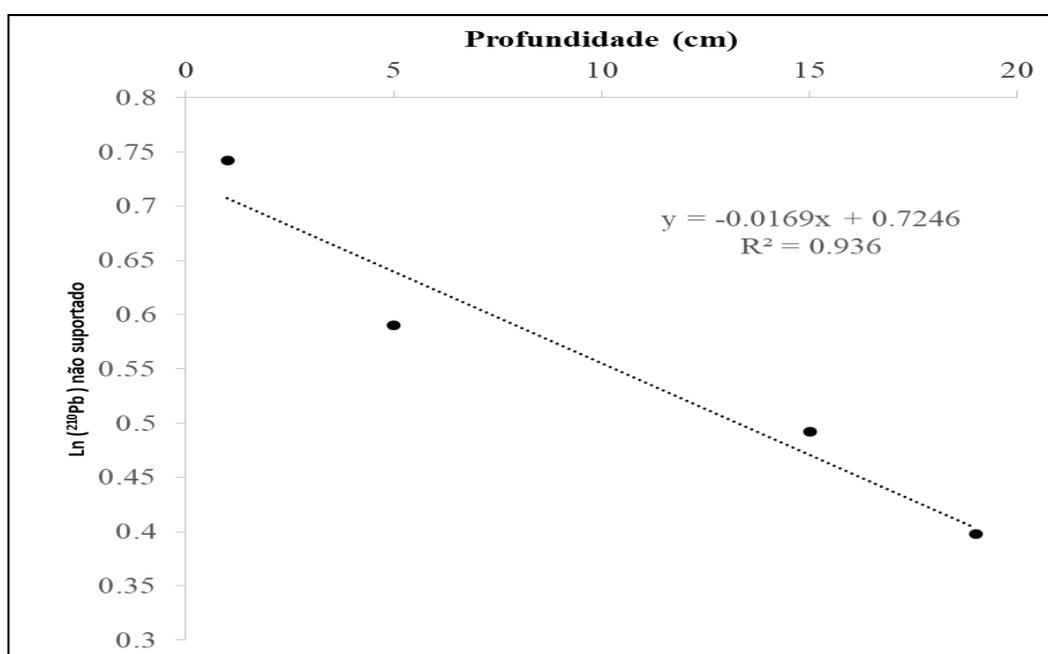


Figura 2: $\ln ^{210}\text{Pb}$ do testemunho de turfa do Pico do Araçatuba.

O carbono orgânico total médio (COT) foi no Pico do Araçatuba foi 25,2% ($\pm 5,3$) (Figura 3a), valor ligeiramente superior ao valor obtido por Lourençato et al (2017) em turfeira na Serra dos Órgãos (23,3%) e em Itatiaia (12,69%). Possivelmente o maiores valores de COT obtidos na turfeira está relacionado com o clima da região sul apresentar menores temperaturas media e maiores índices pluviométricos. Os valores de COT encontrados no Pico do Araçatuba estão também em concordância com encontrados por Rudiyanto et al., (2015), em turfeiras tropicais da Indonésia, Malásia e Peru, apresentando uma variação de COT de 11 a 62%.

Lourençato et al (2017) e Lourençato et al (2019) observou um aumento nos valores de COT desde a década de 1950 coincide com o maior período de desenvolvimento industrial no Brasil, que também coincide com o aumento exponencial das emissões globais de carbono (IPCC, 2014). Entretanto estes autores também observaram uma pequena redução dos valores de COT a partir de 2000. O aumento da concentração atmosférica de CO_2 estimula a produtividade das plantas, aumentando a incorporação de carbono ao solo (Idso et al., 1994).

O testemunho de turfa coletado no Pico do Araçatuba também apresenta uma queda nos valores de COT a partir de 2000. Ao comparar as variações e contrações de COT no testemunho do Pico do Araçatuba com os valores de pluviosidade média da região (Terassi et al., 2019) foi possível observar que os períodos de maiores valores de pluviosidade correspondem aos períodos de maior acúmulo de COT na turfeira.

O acúmulo de C ocorre devido à produtividade primária anual da vegetação que excede a decomposição anual (Thormann e Bayley, 1997). As baixas taxas de decomposição em turfeiras resultam dos efeitos combinados de difusão limitada de oxigênio em turfa saturada, levando a condições anóxicas para uma grande parte do perfil da turfa (Clymo, 1992) e geralmente a temperaturas mais baixas da turfa (Puranen et al., 1999). O aquecimento global será seguido por outras mudanças que também podem afetar o balanço de carbono, incluindo aumento das concentrações atmosféricas de CO₂, mudanças na precipitação, umidade do solo (Schimel et al., 1990).

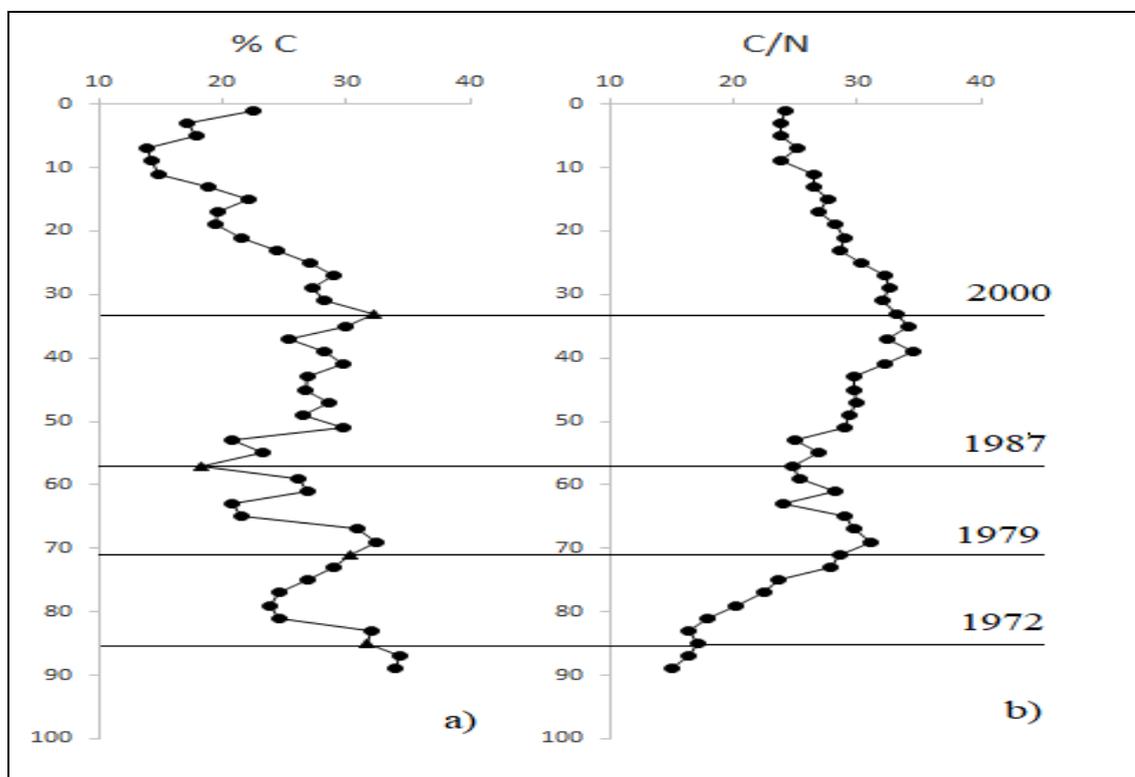


Figura 3. Testemunho de turfeira do Pico Araçatuba-Paraná. a) Conteúdo de Carbono orgânico total (%); b) relação Carbono/nitrogênio -C/N.

A relação C/N pode indicar a fonte e o estágio de mineralização dos materiais orgânicos para o meio ambiente. As relações C/N variando de 4 a 10 indicam plantas não vasculares que não possuem lignina, enquanto 10 a 20 se relacionam à mistura de plantas vasculares e não vasculares ou degradação biológica e uma razão C/N superior a 20 é característica das plantas vasculares que possui lignina (Meyers, 1994). Além das características desta planta, a relação C/N também pode ser associada ao grau de humificação (Malmer e Holm, 1984) e à decomposição da serapilheira. No processo de decomposição, o carbono desempenha o papel de fonte de energia para os microrganismos e o nitrogênio é

conservado como proteína. A relação C/N da turfeira do Pico do Araçatuba variou entre 34 e 15 sendo a média de $24 (\pm 5)$, apresentando um aumento da relação até 1979, posteriormente um aumento até o ano de 2000 e posteriormente decréscimo na relação até os dias atuais (Figura 3b), comportamento semelhante ao COT. Esses valores elevados de C/N mostram que se trata de uma turfa formada a partir de plantas vasculares e com elevado grau de mineralização.

As turfeiras são importantes ambientes no estudo da deposição de mercúrio uma vez que este elemento pode formar complexos com matéria orgânica por mecanismos bióticos e abióticos (Xia, 1999). Assim, as concentrações de Hg são fortemente influenciadas por processos de humificação de turfa (Biester et al., 2003; Franzen et al., 2004; Perez-Rodríguez et al., 2015).

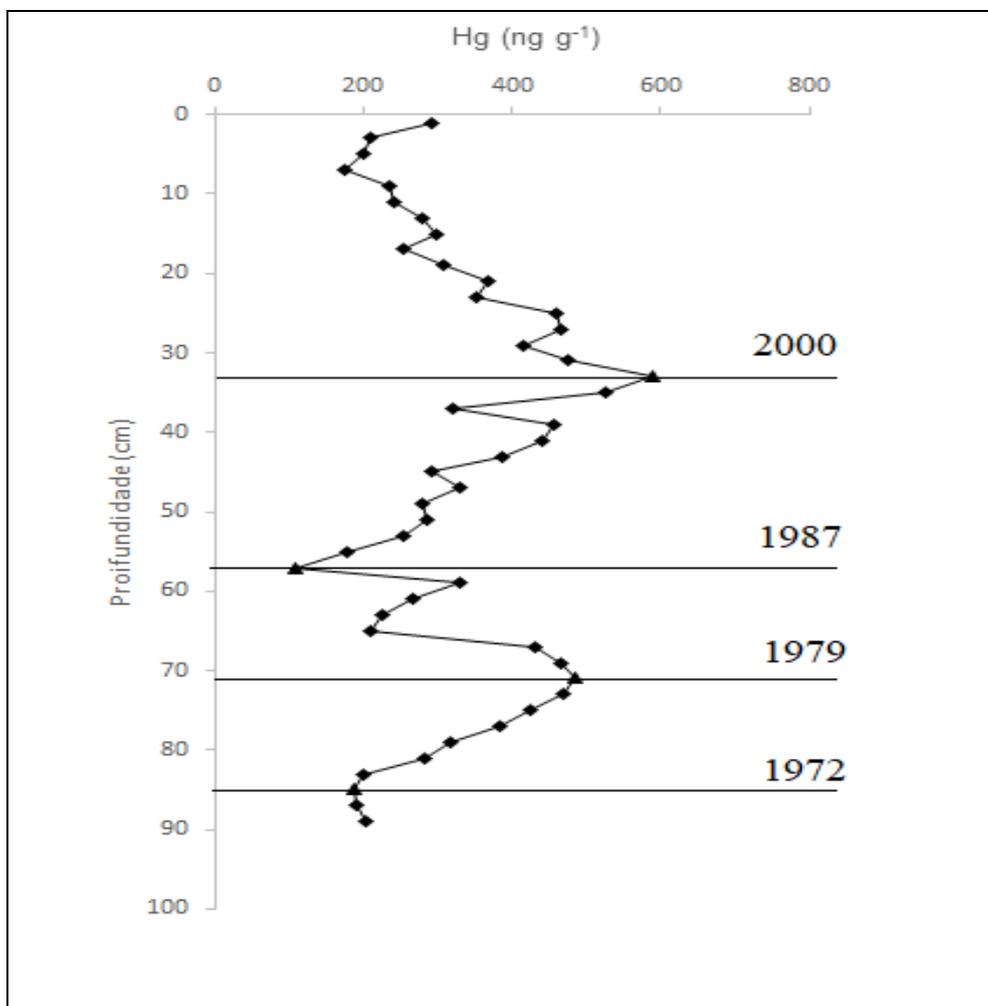


Figura 4: Conteúdo de mercúrio (Hg) (ng g^{-1}) do testemunho de turfa do Pico do Araçatuba.

As concentrações de Hg no testemunho do Pico do Araçatuba variaram de 109 a 590 ng g^{-1} com uma média de $323 \pm 112 \text{ ng g}^{-1}$. Na parte inferior do testemunho, abaixo dos 85 cm (período anterior a 1972), as concentrações de Hg obtidas foram relativamente menores, com

um aumento da concentração até 1979, e uma posterior redução até 1987. Após 1987 a concentração de mercúrio apresentou um novo aumento até atingir a máxima concentração o ano de 2000, voltando a reduzir até o presente (Figura 4). Lacerda et al. (2004) avaliaram a concentração de mercúrio em sedimentos de lago em PNI e obtiveram também aumento nas concentrações de mercúrio em períodos recentes, encontrando valores de cerca de 450 ng g⁻¹ após 1950. Outridge et al. (2011) em estudo realizado em Manitoba - Canada, obtiveram valores semelhantes ao presente estudo, onde de 1900 a 1930 encontraram 130 ng g⁻¹ de Hg, de 1931 a 1988 foi encontrado 170 ng g⁻¹ e posteriormente, após 1988, ocorreu redução da concentração de mercúrio para 100 ng g⁻¹, que segundo os autores estaria associada a redução de emissão de mercúrio para a atmosfera.

4. CONCLUSÃO

As avaliações realizadas nas turfeiras do Pico do Araçatuba mostraram que estes ambientes possuem elevada teores de COT e portanto servem como verdadeiros estoques de carbono. Dada a importância do carbono como elemento na regulação do aquecimento global, a manutenção e preservação destes ambientes bem como a compreensão dos processos biogeoquímicos desses ambientes se tornam extremamente necessárias.

Além da importância das turfeiras em sequestrar e acumular carbono, essas matrizes ambientais também possuem papel importante na ciclagem e no registro ao longo do tempo de acúmulo de elementos traços oriundos da atmosfera. O aumento das concentrações de elementos traços, como o mercúrio, na atmosfera foi devido a atividades antrópicas que resultaram no aumento dos valores desses elementos nas turfeiras.

5. AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) (31003010004P0), FAPERJ (Fundação Carlos Chagas Filho de Apoio à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro) (E-26 / 102.296 / 2017) e CNPq (National Conselho de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) / INCT-TMCOcean (<http://inct.cnpq.br/web/inct-tmcocean>).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, A.A., Ghaleb, B., Garneau M., Asnong, H., Loisel J., 2008. Recent peataccumulation rates in minerotrophic peatlands of the Bay James region, EasternCanada, inferred by ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs radiometric techniques. *Appl. Radiat. Isot.* 66, 1350–1358.
- Appleby, P.G., Oldfield, F., 1983. The assessment of ²¹⁰Pb data from sites with varying sediment accumulation rates. *Hydrobiologia.* 103, 29-35.
- Biester, H., Martinez-Cortizas, A., Birkenstock, S., Kilian, R., 2003. Effect of peat decomposition and mass loss on historic mercury records in peat bogs from Patagonia. *Environ. Sci. Technol.*, v. 37, p. 32-39

- Bispo, D.F.A., Silva, A.C., Christofaro, C., Silva, M.L.N., Barbosa, M.S., Silva, B.P.C., Barral, U.M., 2015. Characterization of headwaters peats of the rio Araçuaí, Minas Gerais state, Brazil. *R. Bras. Ci. Solo.* 39, 475-489.
- Buch, A.C., Brown, G.G., Lourençato, L.F., Silva-Filho, E.V., 2017. Ecotoxicology of mercury in tropical forest soils: Impact on earthworms. *Sciences of the Total Environment*, Amsterdam, v. 589, p. 222-231.
- Boothroyd, I.M., Worrall, F., Allott, T.E.H., 2015. Variation in dissolved organic carbon concentrations across peatland hillslopes. *J. Hydrol.* 530, 372-383.
- Clymo, R.S., 1992. Models of peat growth. *Suo* 43, 127-36.
- Cutshall, N.H., Larsen, I.L., Olsen, C.R., 1983. Direct analysis of ^{210}Pb in sediment samples: self-absorption corrections. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res.* 206, 309-312.
- EPA (United States Environmental Protection Agency), 2004. Innovative technology verification report: Field measurement technology for mercury in soil and sediment. Ohio Lumex's RA-915⁺/RP-91C mercury analyser. EPA/600/R-03/147. Washington, p. 86.
- Franzen, C., Kilian, R., Biester, H., 2004. Natural mercury enrichment in a minerogenic fen: evaluation of sources and processes. *J. Environ. Monit.* v. 6, p. 466-472.
- Gorham, E., Lehman, C., Dyke, A., Clymo, D., Janssens, J., 2012. Long-term carbon sequestration in North American peatlands, *Quaternary Sci. Reviews*, 58, 77-82.
- Hayes, M.H.B., Clapp, C.E., 2001. Humic substances: considerations of compositions, aspects of structure, and environmental influences. *Soil Sci.* 166, 723 –727
- Holmquist, J.R., Booth, R.K., MacDonald, G.M., 2016. Boreal peatland water table depth and carbon accumulation during the Holocene thermal maximum, Roman Warm + on world peatlands and peat resources, in: *Global peat resources*, International Peat Society, Jyska, Finland, 53-56.
- Idso, K.E., Idso, S.B., 1994. Plant responses to atmospheric CO₂ enrichment in the face of environmental constraints: A review of the past 10 years' research. *Agr. Forest Meteorol.* 69, 153-203.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014. *Climate change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC*, Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK. Geneva, Switzerland, 151 pp.
- Lacerda, L.D., Rezende, C.E., Ovalle, A.R., Carvalho, C.E., 2004. Mercury distribution in continental shelf sediments from two offshore oil fields in southeastern Brazil. *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.* 72, 178-185
- Lourençato, L.F., Caldeira, P.P., Bernardes, M.C., Buch, A.C., Teixeira, D.C., Silva-Filho, E.V. 2017. Carbon accumulation rates recorded in the last 150 years in tropical high mountain peatlands of the Atlantic Rainforest, SE – Brazil. *Science of the Total Environment*, 579, Pages 439-446

- Lourençato, F.L., Bernardes, M.C., Buch, A.C. Silva-Filho, E.V., 2018. Lignin phenols in the paleoenvironmental reconstruction of high mountain peatlands from Atlantic Rainforest, SE-Brazil. *Catena*. 172.
- Malmer, N., Holm, E., 1984. Variation in the C/N-quotient of peat in relation to decomposition rate and age determination with ^{210}Pb . *Oikos*. 43, 171-182.
- Mascarenhas, A.F., Brabo, E. da S., Da Silva, A.P., Fayal, K.F., Jesus, I.M., Santos, E. C.O., 2004. Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil. *Acta Amazonica*, Manaus, v. 34, p. 61-68.
- Meyers, P.A., 1994, Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chem. Geol.* 114, 289-302.
- Meyer, C., Diaz-de-Quijano, M., Monna, F., Franchi, M., Toussaint, M.L., Gilbert, D., Bernard, N., 2015 Characterisation and distribution of deposited trace elements transported over long and intermediate distances in north-eastern France using Sphagnum peatlands as a sentinel ecosystem. *Atmospheric Environment*, Oxford, v. 101, p. 286-293.
- Moore, P.D., 2002. The future of cool temperate bogs. *Environmental and Conservation*, Oxford, v. 29, p. 3-20.
- Olid, C., Garcia-Orellana, J., Martínez-Cortizas, A., Masqué, P., Peiteado, E., Sanchez-Cabeza, J.A., 2008. Role of surface vegetation in ^{210}Pb -dating of peat cores. *Environ. Sci. Technol.* 42(23), 8858-8864.
- Page, S.E., Siegert, F., Rieley, J.O., Boehm, H.D.V., Jaya, A., Limin, S., 2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature*, London, v. 420, p. 61-65.
- Page, S., Wüst, R., Banks, C., 2010. Past and present carbon accumulation and loss in Southeast Asian peatlands. *Pages News*. 18 (1), 25-30.
- Pereira, M.G., dos Anjos, L.H.C., Valladares, G.S., 2005. Organossolos: Ocorrência, Gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. *Tópicos Ci. Solo*. 4, 233-276.
- Perez-Rodríguez, M., Hor Ak-Terra, I., Rodríguez-Lado, L., Aboal, J. R., Martínez-Cortizas, 2015. A. Long-term (~ 57 ka) controls on mercury accumulation in the Souther Hemisphere reconstructed using a peat record from Pinheiro mire (Minas Gerais, Brazil). *Environ. Sci. Technol.*, v. 49, p. 1356-1364.
- Puranen R., Mäkilä, M, Säävuori, H., 1999. Electric conductivity and temperature variations wi thin a raised bog in Finland: implications for bog development. *Holocene*, 9,13-24.
- Rabassa, J., Coronato, A., Heusser, C.J., Roig Juñent, F., Borronei, A., Roig, C., Quattrochio, M., 2006. The Peatlands of Argentine Tierra del Fuego as a source for paleoclimatic and paleoenvironmental information. *Development in Earth Surface Processes Series*, v. 9, p. 129-145.

- Rahman, Md. M., Kabir, Md.E., Akon, A.S.M.J.U., Ando, K., 2015. High carbon stocks in roadside plantations under participatory management in Bangladesh. *Global Ecology and Conservation*, Oxford, v. 3, p. 412-423.
- Roderjan, C.V.A., 1994. Floresta Ombrófila Densa Altomontana no Morro Anhangava, Quatro Barras, PR – aspectos climáticos, pedológicos e fitossociológicos. 119p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Roderjan, C.G., Franklin-Kuniyoshi, Y.S., Hatschbach, G.G., 2002. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. *Ciência & Ambiente*. 24. 75-92.
- Rudiyanto, B.I.S., Arief, C., Saptomo, S.K., Gunawan, A., Kuswarman, Sungkno, Indriyanto, H.I., 2015. Estimating distribution of carbon stock in tropical peatland using a combination of an empirical peat depth model and GIS. *Procedia Environ. Sci.* 24, 152-157.
- Santos, H. G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Lumberras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Cunha, T.J.F., Oliveira, J.B., 2013. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa.
- Schimel, D.S., Parton, W.J., Kittel, T.G.F., Ojima, D.S., Cole, C.V., 1990. Grassland biogeochemistry: links to atmospheric processes. *Clim. Change*. 17, 13-25.
- Shotyk, W., Weiss, D., Appleby, P.G., Cheburkin, A.K., Frei, R., Gloor, M., Kramers, J.D., Reese, S., Van Der Knaap, W.O., 1998. History of atmospheric lead deposition since 12.730 14C yr BP from a peat bog, Jura Mountains. *Science, Switzerland*, v. 281, p. 1635-1640, 1998
- Terassi, P.M. de B., Biffi, V.H.R., Galvani, E., Oliveira-Júnior, J. F., 2019. Estimativas de erosividade e as precipitações diárias extremas na bacia hidrográfica do rio Alto Iguaçu – Paraná. *revista Brasileira de Climatologia*, V.25, 241-265.
- Thormann, M.N, Bayley, S.E., 1997. Above-ground net primary production along a bog-fen-marsh gradient in southern boreal Alberta, Canada. *Ecoscience*. 4, 374-84.
- Vegas-Vilarrúbia, T., Baritto, F., López, P., Meleán, G., Ponce, M.E., Mora, L., Gómez, O., 2010. Tropical Histosols of the lower Orinoco delta, features and preliminary quantification of their carbon storage. *Geoderma*. 155, 280-288.
- Veiga, M.M., Meech, J.A., Onate., N., 1994. Deforestation: a major sources of mercury pollution in the Amazon. *Nature, London*, v. 368, p. 816-817.
- Wieder, R.K., 2001. Past, present, and future peatland carbon balance: an empirical model based on ²¹⁰Pb-dated cores. *Ecol. Appl.* 11(2), 327-342.
- Xing, W., Bao, K., Gallego-Sala, A.V., Charman, D.J., Zhang, Z., Gao, C., Lu, X., Wang, G., 2015. Climate controls on carbon accumulation in peatlands of northeast China. *Quat. Sci. Rev.* 115 (1), 78-88.
- Yu, Z.C., 2012. Northern peatland carbon stocks and dynamics: a review. *Biogeosciences*. 9, 4071-4085.

Xia, K., 1999 X-ray absorption spectroscopic evidence for the complexation of Hg (II) by reduced sulfur in soil humic substances. *Environ. Sci. Technol.*, v. 33, p. 257-261.