

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E APLICAÇÃO DA ESPECTROSCOPIA DE EMISSÃO ÓPTICA COM PLASMA INDUZIDO POR LASER (LIBS) PARA A DETERMINAÇÃO DE CONTAMINANTES PROVENIENTES DO DEPÓSITO TECNOGÊNICO DO BAIRRO SÃO BENTO, BOA VISTA – RR

Physical characterization and Application of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) for the determination of contaminants from the technogenic deposit São Bento district, Boa Vista – RR

Caracterización física y Aplicación de Espectroscopia de Rompimiento Inducida por Láser (LIBS) para la determinación de contaminantes del depósito tecnogénico del distrito de São Bento, Boa Vista – RR

Gabriela Blank Chaves
Universidade Federal de Roraima
gabriela-blank@hotmail.com

Lorena Malta Feitoza
Universidade Federal de Roraima
lorena.malta@ufrr.br

Eliel Eleutério Farias
Universidade Federal de Roraima
eliel.eleuterio@ufrr.br

Carlos Ivory Coimbra dos Santos
Universidade Federal de Roraima
carlos.ivory@ufrr.br

Suellen Farias Rocha
Universidade Federal de Roraima
suellenr.rocha@hotmail.com

Resumo

No processo de transformação da paisagem, a intensidade de atuação das sociedades atuais ocasiona a formação de depósitos correlativos comparáveis aos depósitos quaternários (depósitos tecnogênicos) devido a um conjunto de ações denominadas tecnogênese. No município de Boa Vista – Roraima, mais especificamente no bairro São Bento, tem-se um exemplo de depósito tecnogênico. Este trabalho visou caracterizar tal depósito com destaque para a sua dinâmica de formação e influência da ação humana nesse processo além de caracterizar quimicamente os sedimentos que o constituem através da técnica por Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). Foi realizada uma caracterização física por meio de análise e descrição do depósito e coleta de amostras para análise química, totalizando 41 pontos de campo. O depósito é formado por camadas constituídas de solo siltoso a arenoso intercalado por diversos materiais manufaturados, sendo, portanto, do tipo construído (referente ao processo gerador) e do tipo úrbico (referente ao material

constituente). A partir da análise por meio do LIBS, os dados revelam abundantes linhas espectrais de Co, Cr, Mn, V, Cd, Hg e Ni nos sedimentos. Contudo, é necessária uma análise quantitativa destes elementos, já que alguns não causam danos quando em baixa concentração. O depósito tecnogênico encontrado no bairro São Bento é um exemplo de uso inadequado de resíduos sólidos, o que tornou o lugar sujeito a propagação de contaminantes no solo e águas além representar riscos aos habitantes do bairro.

Palavras-chave: Depósito tecnogênico, LIBS, Resíduos sólidos, Contaminantes.

Abstract

In the process of landscape transformation, the acting intensity of current societies cause the formation of correlative deposits comparable to the quaternary deposits (technogenic deposits) due to a set of actions called technogenesis. In the municipality of Boa Vista - Roraima, more specifically in the São Bento neighborhood, there is an example of a technogenic deposit. This work aimed to characterize such deposit having emphasis on its formation dynamics and human action influence in this process besides characterizing chemically the sediments that constitute it through the technique by Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). A physical characterization was performed through deposit analysis and description and sample collection for chemical analysis, totaling 41 field points. The deposit consists of layers composed of silty to sandy soil intercalated by several manufactured materials, being therefore of the built type (referring to the generating process) and the urbic type (referring to the constituent material). From the analysis by means of the LIBS, the data reveal abundant Co, Cr, Mn, V, Cd, Hg and Ni spectral lines in the sediments. However, a quantitative analysis of these elements is necessary, since some do not cause damage when in low concentration. The technogenic deposit found in the São Bento neighborhood is an example of the solid waste inadequate use which has made the place propitious to the spread of contaminants in the soil and water besides representing risks to the neighborhood inhabitants.

Keywords: Technogenic deposit, LIBS, Solid waste, Contaminants

Resumen

En el proceso de transformación del paisaje, la intensidad de acción de las sociedades actuales provoca la formación de depósitos correlativos comparables a los depósitos cuaternarios (depósitos tecnogénicos) debido a un conjunto de acciones llamadas tecnogénesis. En el municipio de Boa Vista - Roraima, más específicamente en el barrio de São Bento, hay un ejemplo de depósito tecnogénico. Este trabajo tuvo como objetivo caracterizar tal depósito con énfasis en su dinámica de formación e influencia de la acción humana en este proceso y caracterizar químicamente los sedimentos que lo constituyen a través de la técnica de la espectroscopia de rompimiento inducida por láser (LIBS). Se realizó una caracterización física a través del análisis y la descripción del depósito y la recolección de muestras para el análisis químico, totalizando 41 puntos de campo. El depósito consiste en capas que consisten en limo a tierra arenosa intercaladas con varios materiales manufacturados, y por lo tanto del tipo construido (refiriéndose al proceso de generación) y del tipo ubic (refiriéndose al material constituyente). Del análisis LIBS, los datos revelan abundantes líneas espectrales de Co, Cr, Mn, V, Cd, Hg y Ni en sedimentos. Con todo, se requiere un análisis cuantitativo de estos elementos, ya que algunos no causan daños cuando están en baja concentración. El depósito tecnogénico encontrado en el barrio de São Bento es un ejemplo de uso inadecuado de los residuos sólidos, lo que ha

hecho que el sitio esté sujeto a la propagación de contaminantes en el suelo y el agua, además de presentar riesgos para los habitantes del barrio.

Palabras clave: Depósito tecnogénico, LIBS, Resíduos sólidos, Contaminantes.

Introdução

A crescente transformação do espaço urbano pelo homem produz anomalias na superfície terrestre provocando alterações no meio ambiente na forma de depósitos de resíduos sólidos, aterros, retificações e escavações acarretando, deste modo, diversos problemas ao ambiente local.

A Geologia do Tecnógeno está concentrada na análise dos produtos gerados de forma direta e indiretamente pela atividade humana, assim como seus processos geradores específicos. Para Peloggia (1998), a ação humana tem consequências geológico-geomorfológicas em três níveis, em termos de formas, processos, formações e depósitos superficiais do ambiente geológico: na modificação do relevo, na alteração da dinâmica geomorfológica e na criação dos depósitos tecnogênicos.

Conforme Machado (2016), o conceito de depósito tecnogênico deve ser aplicado em função de que a maior parte do material não apresenta transformações químicas, físicas e biológicas significativas com formação de horizontes pedológicos para caracterizar um Antropossolo.

Os depósitos tecnogênicos testemunham a ação geológica humana e o comportamento das paisagens atuais. Ter-Stepanian (1988) caracteriza esses depósitos a partir da sua grande variedade, feições diferenciadas, diversidade de composição e grande variação de espessura. Sendo que, de modo geral, a sua principal característica refere-se à sua composição textural de materiais manufaturados com sedimentos. Alguns destes depósitos concentram grande quantidade de resíduos sólidos, que variam de orgânicos a inorgânicos, como materiais de construção civil e domésticos.

A disposição de resíduos sólidos diretamente no solo foi considerada por muito tempo uma prática aceitável, uma vez que se acreditava que os produtos gerados pelos resíduos eram completamente dissolvidos no solo e não o contaminavam. A partir dos anos 50, começaram-se estudos sobre contaminações em águas subterrâneas e, como resultado, os resíduos foram classificados como perigosos e não perigosos (BERNADES JÚNIOR; SABAGG; FERRARI, 1999). Sabe-se hoje que grande parte dos resíduos sólidos pode lançar um alto potencial de cargas tóxicas no meio ambiente e que a sua

disposição inadequada pode gerar tanto problemas de contaminação quanto de aceleração dos processos do meio físico (COLLARES, 2000). Um exemplo disso é a introdução de metais pesados no meio ambiente, como o Chumbo (Pb), Cádmio (Cd) e o Mercúrio (Hg), os quais não possuem função dentro dos organismos e a sua acumulação pode ser nociva.

No município de Boa Vista-RR, mais especificamente no bairro São Bento, zona sul da cidade tem-se um exemplo de depósito tecnogênico, o qual foi formado a partir de um antigo lixão sendo que, atualmente, a área é ocupada pelos moradores do bairro que se originou de uma invasão em 2006.

A disposição e a decomposição de resíduos sólidos geram agentes físicos, químicos ou biológicos que podem interferir na saúde humana e no ambiente. Eles se apresentam da seguinte forma: a) gases e odores emanados dos resíduos; b) materiais perfurocortantes, tais como vidros, lascas de madeira e objetos pontiagudos; c) poeiras; d) líquidos que vazam de pilhas e baterias; e) óleos e graxas, pesticidas/herbicidas, solventes, tintas; f) produtos de limpeza, cosméticos, remédios, aerossóis; g) metais pesados como chumbo, cádmio e mercúrio; h) microrganismos patogênicos: vírus, bactérias e fungos; i) roedores e vetores (NISTAL, 2014). Assim, com o intuito de realizar uma caracterização química do local a fim de identificar a presença de metais pesados nos sedimentos que compõem o depósito tecnogênico do bairro São Bento, utilizou-se neste estudo a técnica por *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS).

Segundo Santos Júnior (2006), LIBS é uma técnica espectroanalítica que emprega um laser pulsado de alta irradiância e que, ao focalizar a amostra, promove uma microamostragem por ablação e uma subsequente excitação das espécies presentes no microplasma durante e/ou imediatamente após a ablação. Átomos, íons e fragmentos de moléculas, que foram excitados no microplasma, emitem radiação em comprimentos de onda característicos o que possibilita a descrição qualitativa dos componentes da amostra.

Dentro deste contexto, a pesquisa visa caracterizar fisicamente o depósito tecnogênico no bairro São Bento com destaque para a sua dinâmica de formação e influência da ação humana nesse processo e por meio da técnica LIBS identificar os possíveis elementos contaminantes nos sedimentos que compõem o depósito, em consequência do chorume produzido pela decomposição do lixo, considerando que o mesmo é composto por substâncias orgânicas, como carbono e nitrogênio; e inorgânicas, como cromo, mercúrio e chumbo, além de apresentar grande concentração de outros metais pesados tóxicos para o meio ambiente.

Materiais e Métodos

Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no bairro São Bento, situado na zona sul da cidade de Boa Vista, Roraima e é circunvizinho dos igarapés Grande e Paca (Figura 01).

Segundo dados do IBGE (2010), o município de Boa Vista está localizado a centro leste do Estado de Roraima e encontra-se na Zona Climática Tropical com um clima tropical úmido do tipo "A", do subtipo AW na classificação de Koppen: clima tropical chuvoso com predomínio de savanas. É quente e úmido, com estação chuvosa no verão (SEPLAN, 2014).

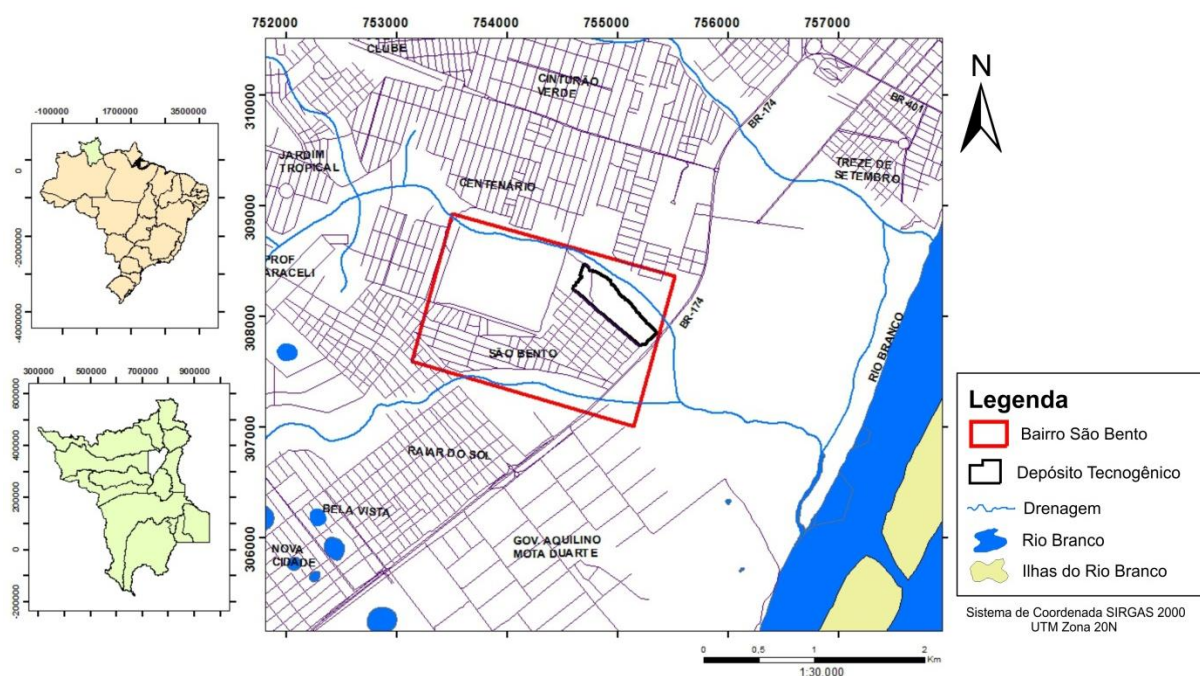


Figura 01. Localização do depósito tecnogênico estudado no bairro São Bento, Boa Vista-RR.

O município está situado numa área aplainada formada por sedimentos holocênicos e pleistocênicos, essencialmente arenosos trabalhados por agentes de transporte fluviais e eólicos em decorrência de processos erosivos recentes (AVILA, 2007). Estes sedimentos recobrem a Formação Boa Vista do período terciário, a qual é constituída por crostas lateríticas, arenitos e argilitos (PINTO et al., 2012).

Em relação ao depósito tecnogênico presente no bairro São Bento, Nistal (2014) diz que há três potenciais fontes de contaminação que compõem o seu entorno: uma Usina

de Asfalto, um antigo lixão desativado e uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município.

O antigo lixão existente no bairro São Bento foi desativado em 2002, quando foi inaugurado o atual aterro sanitário do município. Apesar de desativado, continuou a receber resíduos, sobretudo os que necessitavam de algum tratamento antes de serem depositados no aterro sanitário. Segundo Nistal (2014), durante a construção do conjunto habitacional, que hoje forma o bairro São Bento, parte do lixão foi relocado, porém, ele se encontra muito próximo do conjunto habitacional tornando, desta forma, a área como uma potencial fonte de contaminação, já que está disposto de modo desordenado sobre o solo, sem a devida compactação, tratamento ou segregação e sem qualquer cobertura, o que acentua os problemas de contaminação do solo, das águas e a proliferação de micro e macro vetores.

Materiais e Métodos

Este trabalho foi dividido em duas fases, onde na primeira foram visitados 09 pontos ao longo da área de pesquisa e na segunda fase foram visitados e amostrados 32 pontos, resultando em um total de 41 pontos de campo (Figura 02).

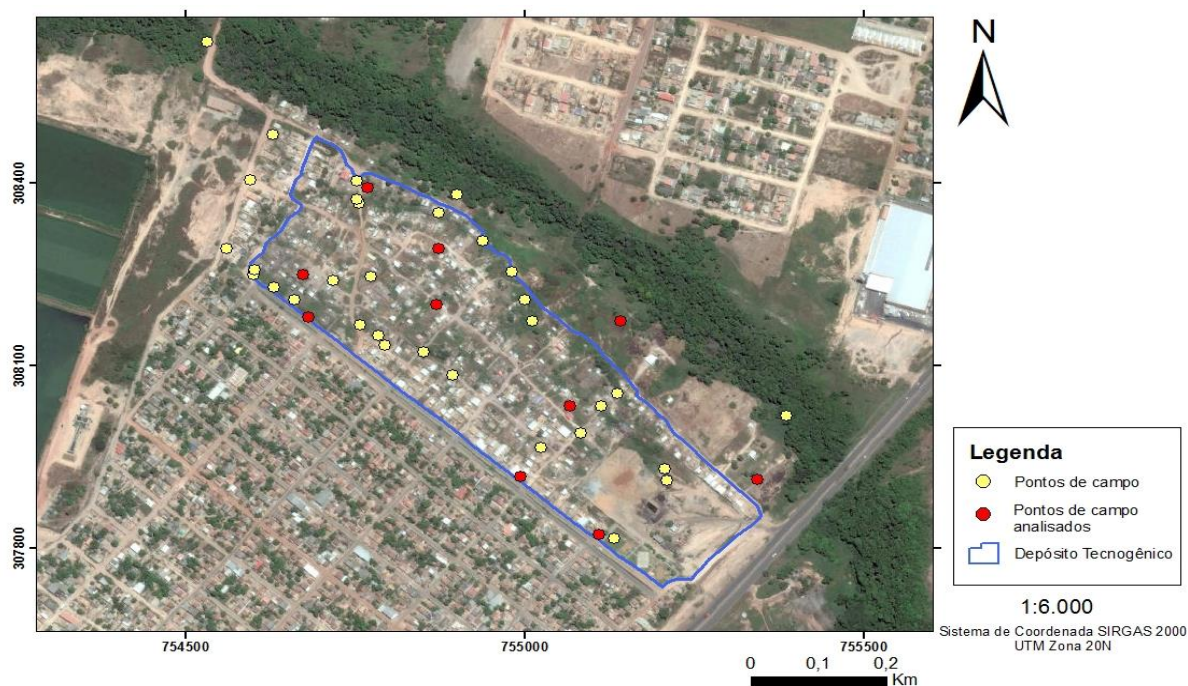


Figura 02. Mapa de pontos visitados no depósito tecnogênico e no seu entorno.

A primeira fase da pesquisa visou à caracterização física do depósito e foi dividida em três etapas: i) a primeira etapa consistiu na construção de uma base teórica através de levantamento bibliográfico sobre a ação antrópica (direta e indiretamente) no meio ambiente, e sobre depósitos tecnogênicos, suas classificações e influências em relação ao meio ambiente, além da aquisição de produtos de sensoriamento remoto; ii) a segunda etapa consistiu na descrição e análise do depósito tecnogênico em campo, confecção de perfis colunares e análise granulométrica dos sedimentos que constituem o depósito; iii) a terceira etapa compreendeu a análise dos dados obtidos em campo, na vetorização do perfis colunares e análises das imagens de sensoriamento remoto. A etapa de campo foi executada nos meses de outubro de 2015 e abril de 2016 com 09 pontos visitados. A análise e descrição do depósito tecnogênico baseou-se na aquisição da sua altura, espessura e disposição das camadas, tipos de resíduos sólidos e tipos de sedimentos.

Para caracterização do depósito tecnogênico foram utilizadas as classificações de Oliveira (1990) e Fanning e Fanning (1989) e para descrição dos sedimentos foram utilizados os parâmetros recomendados por Tucker (2014). Após esta etapa, foram confeccionados os mapas de localização e de pontos de campo através do *software* Arcgis 10.2.2 e a vetorização dos perfis colunares foi efetuada por meio do *software* Corel DRAW X7.

A segunda fase da pesquisa visou à caracterização química dos sedimentos do depósito. Essa fase também foi dividida em três etapas: i) a primeira etapa envolveu levantamento bibliográfico sobre o funcionamento e a aplicação da técnica *Laser Induced Breakdown Spectroscopy* (LIBS); ii) na segunda etapa foi realizada coleta de amostras de sedimentos de subsuperfície, por meio de um trado do tipo caneco de 4", com 1 m de profundidade e a intervalos de 50 cm de profundidade, e de afloramentos. Esta etapa foi executada em março de 2017, totalizando em 32 pontos visitados, sendo que dentre estes, foram analisadas 20 amostras de 10 pontos; iii) a terceira etapa incluiu a separação e preparação das amostras para posterior análise com LIBS, a fim de identificar elementos químicos como os metais pesados Cádmiu (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Cobalto (Co), Chumbo (Pb), Níquel (Ni), Mercúrio (Hg), Manganês (Mn) e Vanádio (V).

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos resistentes, identificadas através de etiqueta e armazenadas no Laboratório de Ensino de Geociências do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Roraima. Depois elas passaram

por limpeza manual para retirar as raízes, restos de folhas e os fragmentos de resíduos sólidos. As amostras arenosas foram levadas para o Laboratório de Geotecnia (Laboratório de Solos) do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Roraima, onde foram prensadas em pequenas formas metálicas utilizando uma prensa elétrica digital, aplicando-se uma carga de aproximadamente 70 a 90 Kgf. Posterior a isso foram encaminhadas ao Laboratório de Pavimentação do mesmo departamento e secas em estufa a uma temperatura de 60°C. As amostras argilosas e siltosas foram moldadas em pequenos blocos.

Em seguida, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Plasma e Espectroscopia Atômica (LaPEA) do Programa de Pós-graduação em Física da Universidade Federal de Roraima e posicionadas no foco de um feixe laser Nd:YAG Q-switched da *Quantel* modelo *Brilhant* B operando no comprimento de onda fundamental de 532 nm e energia ajustada em (280 ± 5) mJ por pulso de intervalos de 5ns. Este pulso laser produz a ablação do alvo formando um plasma que emite radiação luminosa característica dos componentes deste plasma, ou seja, revela quais elementos químicos estão presentes na amostra.

A radiação óptica emitida pelo plasma é então coletada por um espectrógrafo tipo Echelle com fenda regulável (~ 10 μ s), e após a dispersão em comprimentos de onda, o espectro óptico é coletado por um detector ICCD colocado na saída do espectrógrafo. Este dispositivo transforma o espectro de emissão do plasma em um sinal elétrico que é transmitido para um computador pessoal (PC). Durante o experimento o delay para aquisição do espectro foi ajustado em 2,5 μ s após o pulso laser e a janela temporal de aquisição foi ajustada entre 50 a 200 ns. O espectro atômico de emissão foi constituído de uma média de 100 pulsos laser. O intervalo de aquisição da radiação foi regulado para garantirmos a condição de equilíbrio termo dinâmico local do plasma. Toda a informação foi digitalizada por um computador acoplado ao sistema óptico. A câmara LIBS (LIBS *Spectro*) conta com um ajuste eletromecânico de posicionadores XYZ, permitindo descolamento nas três orientações durante a realização do experimento. A temperatura e umidade foram controladas durante a realização do experimento, para garantir as mesmas condições térmicas utilizadas na calibração do equipamento. A figura 03 mostra o esquema experimental da montagem usada para a análise das amostras.

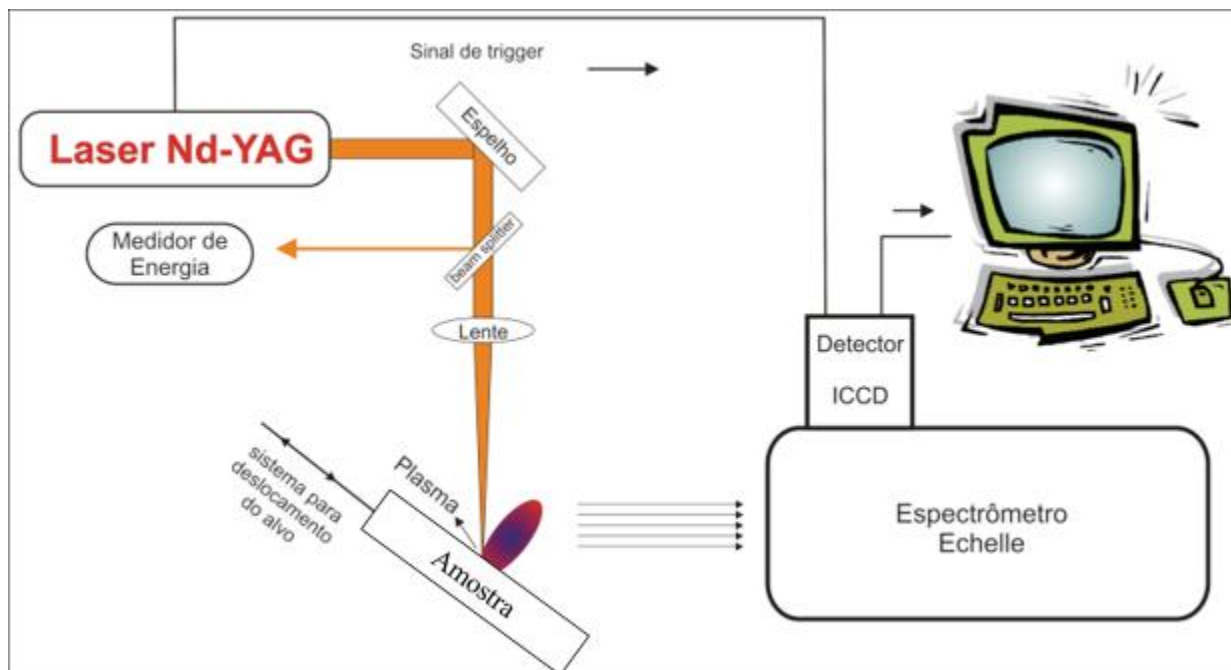


Figura 03. Esquema do aparato instrumental utilizado (modificado de Farias et al., 2015).

Os espectros das amostras foram gerados e coletados no Laboratório de Plasma e Espectroscopia Atômica (LaPEA) e sua composição elementar foi analisada e identificada em tempo real. Para a análise dos espectros atômicos de interesse foi utilizado um *software* adequado, o *Sophi*, o qual processa o espectro gerado após a incidência do laser sobre a amostra. As barras verticais do espectro indicam as posições das linhas e suas intensidades de fótons relativas tabeladas. A indicação de uma linha como pertencente a um dado elemento químico não se faz usando apenas uma linha, desse modo, é empregada no mínimo duas tendo como base no seu posicionamento em comprimento de onda e suas intensidades relativas (FARIAS et al., 2016).

Resultados e Discussão

O depósito tecnogênico estudado apresentou, de maneira geral, camadas constituídas de sedimento siltoso a arenoso intercalado por sacolas plásticas, garrafas plásticas, ferro, tecidos, borrachas, vidros, madeira e materiais de construção civil, predominando, desta forma, materiais inorgânicos (Figuras 04 e 05).



Figura 04. Depósito tecnogênico no bairro São Bento. A) Grande volume de resíduos sólidos misturados com sedimentos; B) Um dos limites do depósito próximo a um igarapé; C) Proximidade do depósito às casas dos moradores do bairro; D) Uma das áreas de coleta de amostra em cima do depósito.

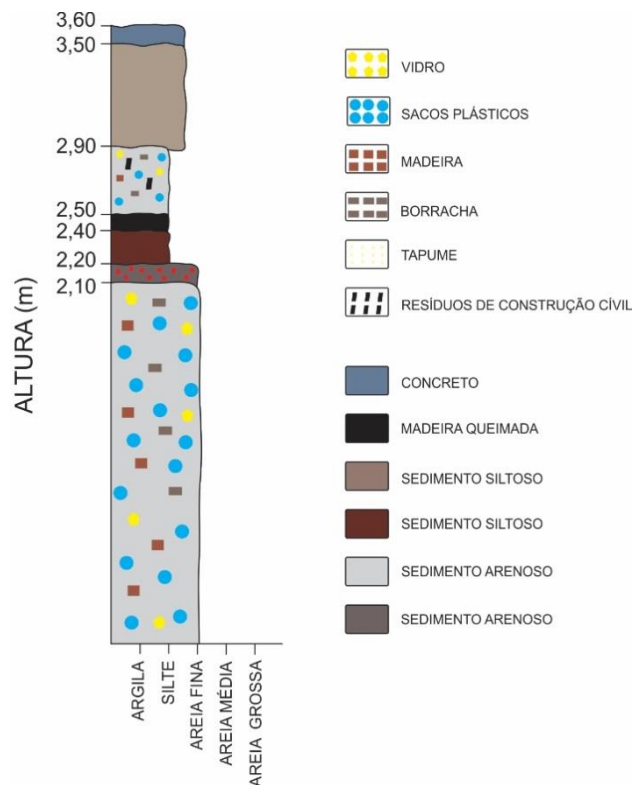


Figura 05. Perfil colunar do depósito mostrando os tipos de sedimentos e de materiais manufaturados presentes.

Segundo Oliveira (1990), os depósitos tecnogênicos são classificados em três tipos principais: os construídos, como aterros e corpos de rejeito, os induzidos, como resultantes de assoreamento e aluviões modernos, e os modificados, que correspondem aos depósitos naturais alterados tecnogenicamente por efluentes, adubos e outros. De acordo com Fanning e Fanning (1989), os depósitos do tipo construídos são classificados em materiais gárbicos (lixo orgânico, de origem humana), úrbicos (detritos urbanos), espólicos (materiais terrosos escavados e redepositados de construções civis) e dragados (material dragado de cursos d'água).

Diante dessa caracterização, o depósito tecnogênico estudado foi classificado como sendo do tipo construído (referente ao processo gerador), já que é resultado da ação humana direta relacionada com o antigo lixão do município de Boa Vista. Cabe ainda destacar que de acordo com o material constituinte é do tipo úrbico, composto pelos mais diversos tipos de detritos urbanos (Figuras 06 e 07).



Figura 06. Depósito tecnogênico do bairro São Bento composto por diversos detritos urbanos.

Machado (2016) diz que o tipo de material que constitui um depósito tecnogênico pode aumentar ou diminuir a instabilidade do terreno, em resultado da acomodação ou movimentação em áreas habitadas. Como o depósito tecnogênico estudado é formado por uma mistura de resíduos domésticos, industriais e de sedimentos, isto irá, possivelmente,

influenciar nos processos de infiltração e escoamento das águas pluviais, na acomodação e decomposição do material, na movimentação dos sedimentos e na migração de elementos químicos. Além disso, há uma intensa movimentação urbana sobre o depósito, o qual é habitado por inúmeras famílias (Figura 07). Este fato aliado com a característica heterogênea dos materiais que constituem o depósito (sedimentos de diferentes granulometrias e diversos tipos de resíduos) o torna uma área instável.

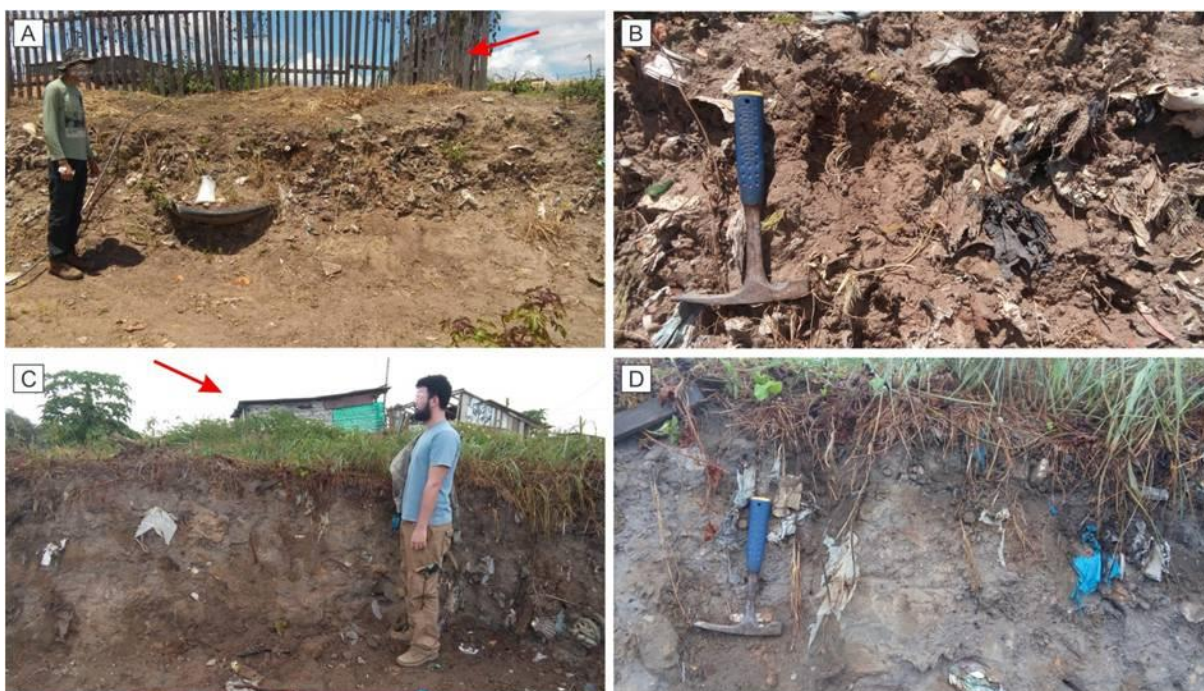


Figura 07. Algumas das casas construídas em cima do depósito (notar setas em vermelho). A) Depósito tecnogênico sob uma moradia; B) detalhe da composição dos resíduos sólidos do depósito em A; C) um dos taludes do depósito próximo às casas; D) detalhe dos resíduos sólidos do depósito em C.

As diferentes granulometrias dos sedimentos que formam o depósito são uma característica importante visto que a permeabilidade das camadas que o formam pode dificultar a infiltração da água, da migração de material decomposto para a área circundante do depósito, do ar e de micro-organismos, dificultando a dissolução do material. Dessa maneira, onde o depósito é composto por sedimentos siltosos, portanto mais impermeáveis, o fluxo de escoamento superficial de águas pluviais será maior e onde o depósito é constituído por sedimentos arenosos haverá uma maior percolação de água pluvial e também de substâncias liberadas pela decomposição dos resíduos. Deste modo, esses depósitos tendem a expandir sua área de influência, tanto de forma vertical como também horizontal. Segundo Machado (2016), essa influência também se dá por meio da

migração das partículas acionadas pela percolação da água e pela ação mecânica das raízes das plantas.

Outro fato importante é quanto ao grau de decomposição do depósito, o que implica na incorporação dos materiais nos sedimentos, no solo e cursos d'água. Como a área de estudo está localizada numa região de clima tropical (quente e úmido) há uma maior decomposição dos resíduos durante a maior parte do ano, já que as temperaturas mais elevadas e o acúmulo de umidade nos sedimentos aceleram a degradação dos materiais (MACHADO, 2016) e desta forma, os sedimentos do depósito bem como as águas superficiais e subterrâneas estariam incorporando diversas substâncias liberadas durante a decomposição do lixo.

Segundo Xiaoli et al. (2007), um dos maiores problemas decorrentes de lixões é o alto teor de metais pesados no solo e vegetação. Metais como o níquel (Ni), cobre (Cu), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e cromo (Cr), por exemplo, estão presentes nos mais diversos tipos de resíduos sólidos dispostos em lixões e aterros, como lâmpadas, pilhas, baterias, latas, dentre outros produtos tóxicos.

As amostras de sedimentos do depósito tecnogênico, analisadas a partir do LIBS, apresentaram abundantes linhas de Co, Cr, Mn, V e Cd, Hg e Ni apresentando pelo menos duas linhas de alta probabilidade de transição, o que confirma a presença desses elementos nos sedimentos do depósito como, por exemplo, as amostras P12, P3, P25 e P5 que exibiram assinaturas dos metais de Co, Cu, Cd, Cr, Mn, Ni, Hg, Pb e V (Figura 08 e 09).

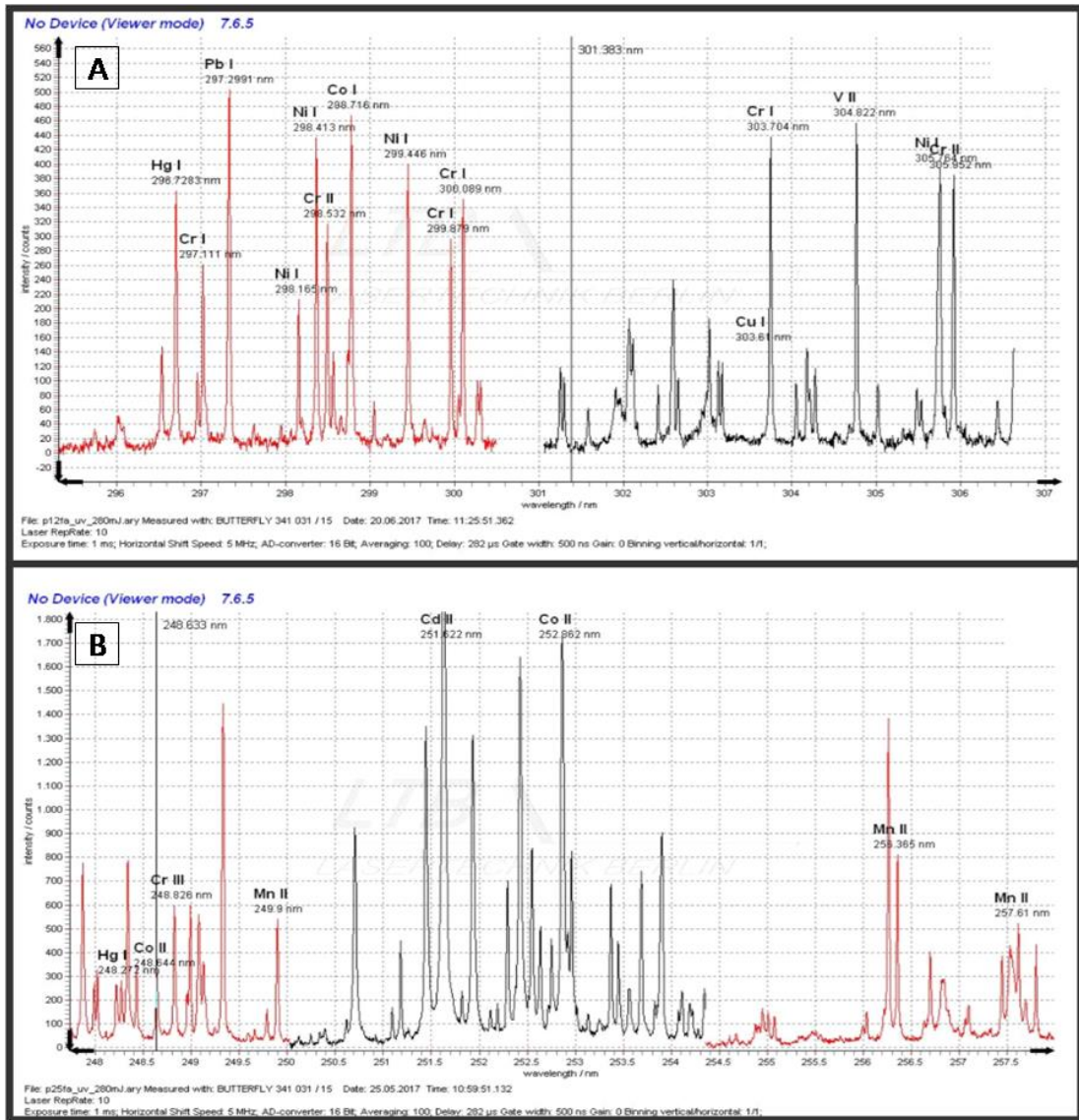


Figura 08. Parte dos espectros gerados nas amostras coletadas revelando a presença de diversos metais pesados nos sedimentos que constituem o depósito. A) Amostra P12; B) Amostra P25.

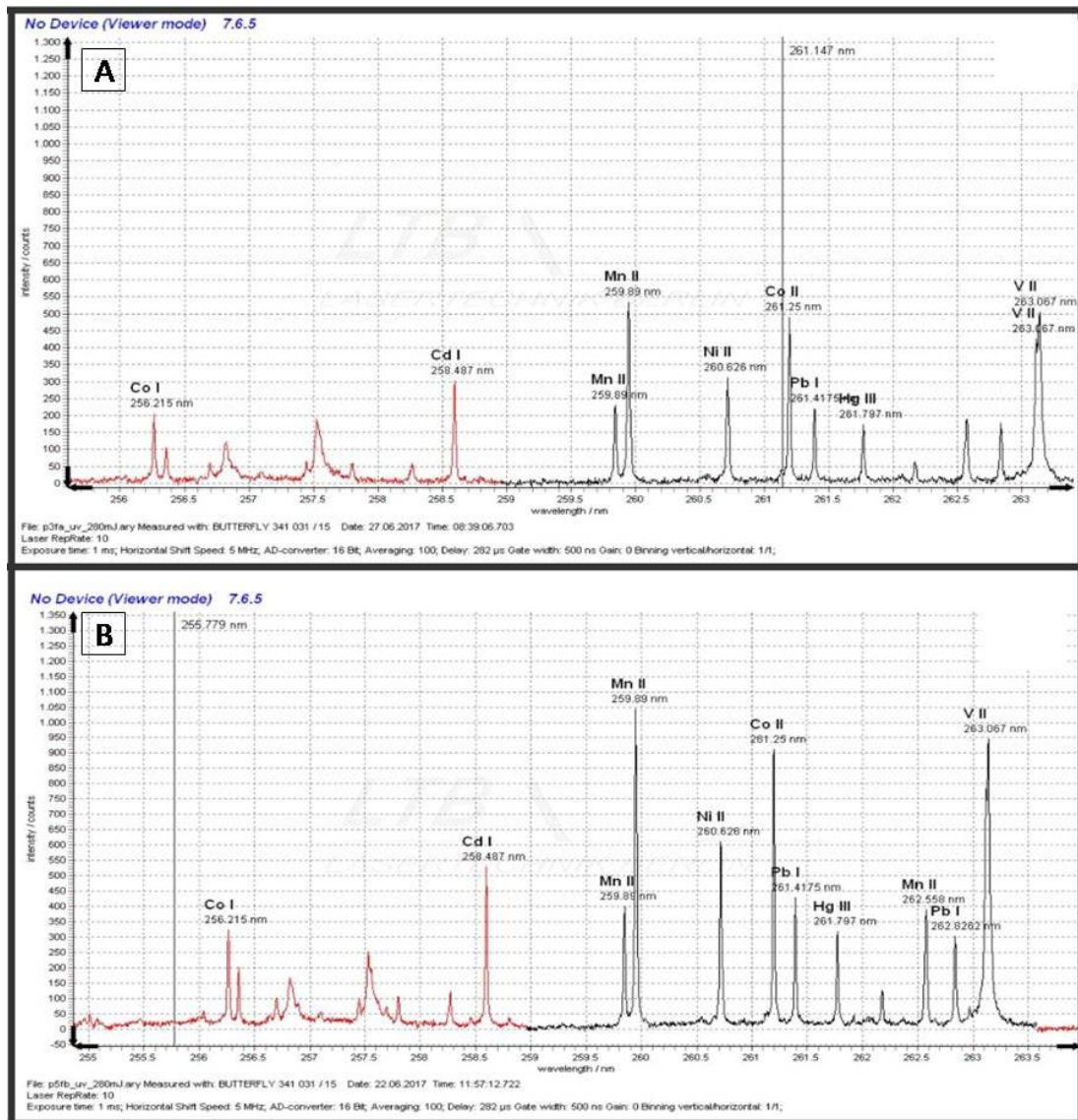


Figura 09. Mais um exemplo de espectros revelando picos de metais pesados presentes no solo analisado. A) Amostra P25; B) Amostra P5.

A principal fonte destes elementos é antropogênica, por meio da disposição inadequada dos resíduos e rejeitos sólidos na forma de lixão, o qual liberou várias substâncias durante a sua deterioração, dentre elas, os metais pesados, que são altamente poluentes em contato com o solo e a água.

A presença de metais pesados em excesso no solo aumenta a possibilidade de inserção na cadeia alimentar e como consequência, contaminam integrantes bióticos (OLIVEIRA; JUCÁ, 2004; PRADEEP et al. 2005) já que o solo atua como um dos receptores finais de metais pesados oriundos dos resíduos e deste modo representa um

meio de inserção e/ou bioacumulação desses poluentes ao longo da cadeia alimentar (MORALES, 2002; TARTARI, 2003).

Como os metais pesados, ao contrário da maioria dos poluentes, são bioacumuláveis e não são biodegradáveis é de suma importância reconhecer a sua quantidade realmente biodisponível e que apresenta riscos ao meio ambiente (NURNBERG, 1984 apud CHAKRAPANI; SUBRAMANIAN, 1993). À vista disso, ainda há necessidade de uma análise quantitativa destes elementos identificados na área de estudo, já que alguns não causam danos quando em baixa concentração, como é o caso do Co, Cr, Mn e Ni. Já o Cd, Pb e o Hg não apresentam nenhuma função dentro dos organismos e são considerados tóxicos mesmo em baixas concentrações nas suas formas catiônicas e também quando ligados a cadeias curtas de átomos de carbono, e sendo fatais em altas concentrações (BERMAN, 1980; GONÇALVES, 2008) sendo nociva a sua acumulação nos sedimentos e águas.

Conclusões

O depósito tecnogênico encontrado no bairro São Bento é um exemplo de uso inadequado de resíduos sólidos, o que tornou o lugar sujeito a propagação de contaminantes. O correto seria a distribuição ordenada dos rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas de maneira a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar impactos ambientais. Enquanto que os resíduos sólidos deveriam ter uma destinação final ambientalmente adequada, o que inclui a sua reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e o seu aproveitamento energético ou outras destinações.

Como o depósito tecnogênico se encontra em uma área urbana gerando transtornos e riscos à população, a determinação de medidas preventivas e mitigadoras de problemas é fundamental para elaboração de projetos que visem o ordenamento territorial, como por exemplo, criar estratégias com o fim de estabilizar os taludes do teso através de arborização para evitar deslizamentos de massa. É importante lembrar que um manejo adequado dos resíduos sólidos é um importante método de preservação do meio ambiente.

A caracterização física foi de suma importância na identificação e variabilidade de artefatos humanos que constituem esse depósito, igualmente para a classificação de acordo com sua gênese e materiais constituintes servindo como base para a caracterização química do local.

A técnica LIBS apresentou vantagens sobre os métodos convencionais, por ser limpa, rápida e por precisar de quantidades reduzidas de amostras para análises e permitiu a identificação de metais pesados, os quais apontam uma contaminação no depósito. Porém, ainda é necessário determinar o nível de concentração desses metais por meio de análises quantitativas.

Agradecimentos:

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – 23038.010321/2013-13 Auxílio 3335/2013 - PRO AMAZONIA. Os equipamentos utilizados foram fomentados pelos Editais: CT Infra – FINEP; PROCAD – CNPq e Pró-Equipamentos – CAPES.

Referências

AVILA, I. C. S. S. *Caracterização preliminar do subsolo da área urbana de Boa Vista-RR, a partir de sondagens de simples reconhecimento*. Monografia, Especialização em Recursos Naturais, Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas. Universidade Federal de Roraima. Boa Vista, 2007, 88 p.

BERMAN, E. 1980. *Toxic metals and their analysis*. Hesden and Son Ltda. London 293p.

BERNADES Jr., C.; SABAGG, M.A.F.; FERRARI, A.A.P. *Aspectos tecnológicos de projetos de aterros de resíduos sólidos*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE), São Paulo 51-69, 1999.

CHAKRAPANI, G. J.; SUBRAMANIAN, V. *Heavy metals distribution and fractionation in sediments of the Mohamadi River basin India*. Environmental, 22: 80-87, 1993.

COLLARES, E.G. *Avaliação de alterações em redes de drenagem de microbacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Capivari – SP*. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 194 p. 2000.

FANNING, D.J.; FANNING, M.C.B. *Soil: morphology, genesis and classification*. John Wiley & Sons, New York, 395p. 1989.

- FARIAS, E. E., BORGES, F.O., CAVALCANTI, F.O., FEITOZA, L. M.; SOUZA, V. *Aplicação da Técnica LIBS na Análise de Amostras Geológicas do Estado de Roraima*. In: Farias, E. E.; Borges, F.O.; Cavalcanti, G. H. (Org.). *Tópicos em Espectroscopia Atômica (espectroscopia atômica, plasma, laser, aplicações)*. Boa Vista, Editora da UFRR, 2016, p. 45-84.
- GONÇALVES, M. F. *Variação temporal e espacial da presença dos metais pesados Cd, Cr, Ni, Pb, Zn na Bacia do Rio Barigüi e identificação de suas fontes potenciais*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 151 p, 2008.
- MACHADO, C. A. *Depósitos Tecnogênicos: Gênese, Morfologias e Dinâmica*. Araguaína, 159 p. 2016.
- MORALES, G. P. *Avaliação ambiental dos recursos hídricos, solos e sedimentos na área de abrangência do depósito de resíduos sólidos do Aurá*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém, 240 p. 2002.
- NISTAL, L. C. *A dinâmica das ocupações de áreas de potencial exposição a agentes químicos, físicos e biológicos nocivos à saúde humana. Estudo de caso: bairro São Bento, Boa Vista, Roraima*. Rio de Janeiro, 125p. Dissertação de Mestrado, Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 125 p. 2014.
- OLIVEIRA, A.M.S. 1990. *Depósitos tecnogênicos associados à erosão atual*. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 6, Salvador, 1990. *Atas...* Salvador, ABGE, v. 1, p. 411-415.
- OLIVEIRA, J. S.; JUCÁ, J. F. *Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos*. Engenharia Sanitária e Ambiental, 9 (3): 211-212. 2004.
- PELOGGIA, A. *O homem e o ambiente geológico: geologia, sociedade e ocupação urbana no Município de São Paulo*. São Paulo, Xamã. 270p. 1998.
- PINTO, V.M., BICUDO, C.A., BRANDÃO, M. A.; BORGES, P. E. *O contexto geológico no município de Boa Vista, Roraima, Brasil*. 2012. ACTA Geográfica, Boa Vista, 6 (12): 7-19. 2012.
- PRADEEP, J.; HWIDONG, K.; TOWNSEND, T. G. *Heavy metal contend in soil reclameid from a municipal solid waste landfill*. Waste Managemnt, 25: 25-35. 2005.
- SANTOS JÚNIOR, D.; TARELHO, L.V.G.; KRUG, F.J.; MILOR, D.M.B.P; MARTIN NETO, L.; VIEIRA JÚNIOR, N.D. *Espectrometria de Emissão Óptica com Plasma*

Induzido por Laser (LIBS) – Fundamentos, aplicações e perspectivas. Revista Analítica. 24: 72-81. 2006.

SEPLAN. *Secretaria de Estado do Planejamento e Desenvolvimento de Roraima*. Informações Socioeconômicas do Município de Boa Vista – RR. 4a ed., Boa Vista, SEPLAN, 87p. 2014.

TARTARI, L. C. *Avaliação do processo de tratamento do chorume do Aterro Sanitário de Novo Hamburgo*. Novo Hamburgo, 94p. Dissertação de Mestrado, Universidade Luterana do Brasil. 2003.

TER-STEPANIAN, G. *The Beginning of Technogene*. In: BULLETIN OF INTERNATIONAL ASSOCIATION OF ENGINEERING GEOLOGY. 38: 133-142. 1988.

TUCKER, M. E. *Rochas sedimentares: guia geológico de campo*. 4a. ed. Porto Alegre, Bookman, 324p. 2014.

XIAOLI, C.; SHIMAOKAB, T.; XIANYANA, C.; QIANGA, G.; YOUCAIA, Z. *Characteristics and mobility of heavy metals in an MSW landfill: implications in risk assessment and reclamtion*. Journal Hazard Materials. 144 (1/2): 485-491. 2007.