



**ANTONIO CARLOS SANTOS DO
NASCIMENTO PASSOS DE OLIVEIRA**

**ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA DE SOLO DE
DEPÓSITO TECNOGÊNICO UTILIZADO
COMO *INPUT* NO PROCESSO DE
TRANSFORMAÇÃO DE COMPONENTES
DE CONSTRUÇÃO CERÂMICOS**

Tese de Doutorado

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo

Belém-Pará-Brasil
2020



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA DE SOLO DE DEPÓSITO
TECNOGÊNICO UTILIZADO COMO *INPUT* NO PROCESSO
DE TRANSFORMAÇÃO DE COMPONENTES DE
CONSTRUÇÃO CERÂMICOS**

TESE SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL
POR

ANTONIO CARLOS SANTOS DO NASCIMENTO PASSOS DE OLIVEIRA

Orientador: Prof. Alcebíades Negrão Macedo, *Doutor*

Belém-Pará-Brasil
2020

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira

TÍTULO: Ativação neutrônica de solo de depósito tecnogênico utilizado como *input* no processo de transformação de componentes de construção cerâmicos

GRAU: Doutor ANO: 2020

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.



Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de Oliveira
Folha 18, Quadra 08, Lote 30, Apartamento 305
Residencial Kawashima de Oliveira
68513-480, Nova Marabá, Marabá, Pará, Brasil

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Passos de Oliveira, Antonio Carlos Santos do Nascimento Ativação
Neutrônica de Solo de Depósito Tecnogênico
utilizado como Input no Processo de Transformação de Componentes de
Construção Cerâmicos / Antonio Carlos Santos do Nascimento Passos de
Oliveira. — 2020.
70 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil,
Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

1. Solo. 2. Depósito Tecnogênico. 3. Componentes de Construção
Cerâmicos. I. Título.

CDD 624



**ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA DE SOLO DE DEPÓSITO
TECNOGÊNICO UTILIZADO COMO *INPUT* NO PROCESSO
DE TRANSFORMAÇÃO DE COMPONENTES DE
CONSTRUÇÃO CERÂMICOS**

AUTOR:

**ANTONIO CARLOS SANTOS DO NASCIMENTO PASSOS DE
OLIVEIRA**

TESE SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA
APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA
OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 09 / 03 / 2020.

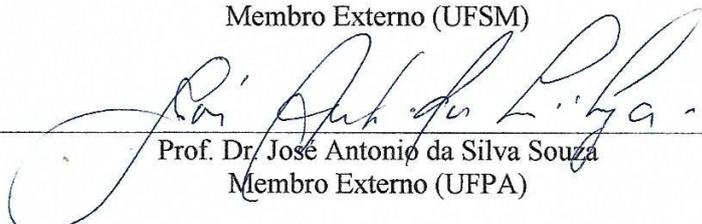
BANCA EXAMINADORA:



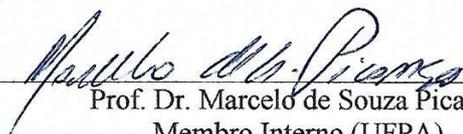
Prof. Dr. Alcebiádes Negrão Macêdo
Orientador (UFPA)



Profa. Dra. Camila dos Santos Torres
Membro Externo (UFSM)

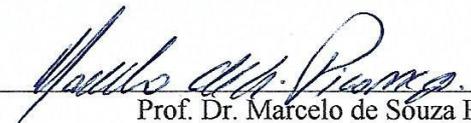


Prof. Dr. José Antonio da Silva Souza
Membro Externo (UFPA)



Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Membro Interno (UFPA)

Visto:



Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

A todos aqueles que desejam voltar para o
seu lar e estar entre os seus.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a meu avô, o Ilm.º Sr. Deodato Pergentino do Nascimento, pelos valiosos ensinamentos morais, culturais e éticos, como também, ao Ilmo.º Sr. Antonio de Araújo Cunha (tio Cunha), por incentivar-me a estudar engenharia, compartilhando comigo seus conhecimentos sobre topografia, que foram cruciais para minha trajetória profissional.

Ao meu marido, Juscelino dos Passos de Oliveira Júnior, que, no decorrer desses anos, divide o ônus e o bônus das minhas escolhas e dos meus equívocos, desde o fim de minha graduação e das demais etapas da qualificação docente, com lealdade e constância, ajudando-me a suportar as cargas que, às vezes, são muito além da minha capacidade de resiliência.

À Profa. Dra. Risete Maria Queirós de Leão Braga, minha orientadora de iniciação científica e monografia de conclusão de curso, por apresentar-me as temáticas de pesquisa das Ciências do Solo, pelo incentivo e confiança desde meados de 2009, um ano tão divisor de águas em minha vida pessoal e profissional – sou muito grato por não ter desistido de mim naquele ano.

À Profa. Dra. Denise Dumke de Medeiros, das disciplinas de Sistemas de Produção e Gestão da Qualidade, da Universidade Federal do Pernambuco. Os ensinamentos e bibliografias passadas foram a base teórica necessária para meu ingresso no magistério superior, em uma instituição de ensino superior federal pública, o que representou ter o suporte financeiro para continuar meus estudos. Esta tese foi escrita em tempos de crise, sem bolsas e custeios, desse modo, somente com a aprovação e posse no cargo, tive a segurança financeira e estabilidade, sem as quais, ingressar no doutoramento e produzir esta tese não seria exequível.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alcebíades Negrão Macêdo, por aceitar-me como orientando, apesar da minha insistência em não desenvolver atividades de pesquisa no *Campus* Belém e, inclusive, não interromper minha atividade profissional, a confiança e compreensão foram cruciais, desde o mestrado ao doutorado, para que fosse possível chegar até aqui.

Agradeço o apoio da sra. Sanny Ramos Mendes de Assis, secretária do PPGEC, por todo apoio nessa jornada, que inclusive vem desde os tempos do mestrado.

Aos meus colegas de trabalho no colegiado do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa): Profa. Me. Rafaela Nazareth Pinheiro de Oliveira Silveira, Prof. Me. Denilson Costa da Silva, Profa. Me. Thulla Christina Esteves e Prof. Me. Rodrigo da Silva Manera, pelas horas dispendidas em diálogos

necessários ao suporte psicológico dessa empreitada, e à Profa. Vânia Carla Dias Martins, que, à época de meu ingresso no programa, fazia parte do quadro docente do curso, pelo encorajamento a enfrentar as forças opositoras à continuidade de minha qualificação docente.

À, então, Ex-Diretora da Faculdade de Engenharia Civil da Unifesspa, *Campus Marabá*, Profa. Dra. Lygia Maria Policarpio Ferreira, pela primeira revisão do meu projeto de tese.

As minhas colegas que fiz em Marabá, Profa. Dra. Camila dos Santos Torres e Profa. Me. Alice Cunha da Silva, pelos passeios e conversas, para além do *campus*. “*Sulito*” obrigado ter aceite fazer parte da banca de avaliação da minha tese. Muito grato sou pelo auxílio na difícil tarefa de estar longe do lar, também, à Profa. Dra. Nuria Gallardo Pérez e ao Salomão Julião, Marcos Nonato Formento Moreira, Maria José Serra Souza e Gabriel dos Anjos Valadares [e a sacada] dispostos a receberem minhas longas visitas.

Aos meus diletos colegas de Belém, Prof. Esp. Luiz Mário dos Santos Cunha, às minhas queridas amigas Profa. Esp. Maria Eliza Bentes Maciel, Profa. Karlúcia Pires Maúes, Mainara da Costa Pires, Silvia Carla Magalhães Baena e Ana Carla Holanda, que, apesar da distância geográfica – que espero seja provisória – nos bons e maus momentos, encontramos valioso tempo, nem que fosse por meios digitais, de estarmos presentes nas jornadas um dos outros, nesse pequeno planeta. Um muito obrigado especial a “*Ana Vivi*” Correa, dileta amiga a mais de uma década, foram muitas conversar virtuais para remediar meus surtos.

À Amanda Katry da Silva Reis pelo *geoapoio*, assim, puder estar livre para Tese.

Ao Prof. Me. Teófilo Augusto da Silva, Coordenador do MediaLab/Unifesspa, pelo convite para realizar minhas pesquisas paralelas e ingressar em seu Grupo de Pesquisa, em um momento que diversas tensões se criavam para que eu não prosseguisse na pesquisa e extensão – muito obrigado, ao senhor e à sua equipe.

Aos Profs. Drs.: José Almir Rodrigues Pereira, Marcelo de Souza Picanço, José Antônio da Silva Souza, pelos conhecimentos transmitidos.

Ao meu querido e adorado lar, a Cidade Velha, que entre idas e vindas, pude desfrutar de suas históricas paisagens, sons e sabores, fundamentais para que eu conseguisse encontrar as energias necessárias para continuar a luta de regressar, à qual, esta tese é a ferramenta primordial.

A todos aqueles que, direta e indiretamente, deram-me apoio, e, também, àqueles que tentaram impedir que este momento se tornasse real, afinal, superar os empecilhos criados por esses últimos otimizaram minhas habilidade e competências de superar as dificuldades inerentes à realidade acadêmica.

Se te apetecer esforçar, esforça-te. Se te apetecer repousar, repousa. Se te apetecer fugir, fuja. Mas saiba muito bem o que te apetece e não recue ante nenhum pretexto, porque o mundo se organizará para te dissuadir.

(Paráfrase de um trecho do Livro Vontade de Poder de Friedrich Nietzsche, tradução de Geneviève Bianquis, 1.441-1.444, 1935)

RESUMO

Os componentes de construção civil que apresentam em seu processo de transformação o solo como *input*, de forma geral, têm a caracterização desse insumo apenas nos aspectos granulométricos. Considerar a extração de solo de depósitos tecnogênicos, que, por definição, tenham contaminantes químicos, pode resultar no risco de liberação de contaminantes geogênicos para a atmosfera. Dada a urbanização desordenada ocorrente na Amazônia, diversas áreas de exploração de argila estão sendo alvo de investigação por apresentarem alterações químicas no seu solo. Sob tal perspectiva, nesta tese, propôs-se investigar, mediante análise de Ativação Neutrônica, se, no processo transformação de componentes de construção civil cerâmicos, especificamente em tijolos cerâmicos, existe a possibilidade de que elementos químicos, considerados ligados ao adocimento humano, apresentem risco de ser liberados para o ambiente. Para realizar essa verificação foi realizado o balanço de massa, desconsiderando voláteis. Os resultados apontaram que, dos 27 elementos analisados, 25 apresentavam redução de suas concentrações após o processo de transformação, que se dá principalmente pela queima do solo. Como a revisão sistemática de literatura desta tese apontou, a liberação desses elementos químicos para o ambiente, por via atmosférica, está intrinsecamente ligada à diminuição da qualidade ambiental do ambiente construído, dessa maneira é indicativo de risco a saúde humana, sendo crucial a realização de mais estudos de investigação dessas liberações de contaminantes para o ambiente.

Palavras-Chave: Solo. Depósitos Tecnogênicos. Componentes de Construção Civil Cerâmicos.

ABSTRACT

The components of civil construction that present soil as an input in their transformation process generally characterize such input only regarding particle size aspects. The extraction of soil from technogenic deposits, which, by definition, contain chemical contaminants, may result in the risk of release of geogenic contaminants into the atmosphere. Due to the disordered urbanization process that has been taking place in the Amazon, several areas of clay exploration are being investigated on account of chemical changes in their soil. From this perspective, the present thesis proposed to assess, through Neutron Activation analysis, if there is a possibility that chemical elements, considered linked to human illness, present a risk of being released into the environment in the process of transformation of ceramic building components. The obtained results showed that, among the 27 elements analyzed, 25 exhibited a reduction in concentration after the ceramic component transformation process, which occurs mainly by burning the soil. As highlighted in the systematic literature review of this thesis, the atmospheric release of these chemical elements into the environment is intrinsically linked to a decrease in the environmental quality of the built environment.

Keywords: Soil. Technogenic Deposits. Ceramic Civil Construction Components.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Acréscimo à Tabela Cronoestratigráfica sugerido por Cunha (2000).....	19
Figura 2. Classificação de Táxons proposta por Ross (1992).....	20
Figura 3. Fluxograma do processo de transformação proposto por Slack (2009).	23
Figura 4. Resultado da Revisão Sistemática de Literatura.....	29
Figura 5. Exemplo de processo de bioacumulação do metilmercúrio.....	33
Figura 6. Integração genética proposto por Peloggia <i>et al.</i> (2014) para classificação do Tecnógeno.....	39
Figura 7. Em azul o Rio Itacaiúnas, o solo foi coletado em suas margens.....	42
Figura 8. Fluxograma de atividades da tese	43
Figura 9. Fluxo de eventos que possibilitam a determinação dos elementos.....	45
Figura 10. Reator TRIGA IPR-R1 do CDTN.....	45
Figura 11. Tijolos cerâmicos após o resfriamento.....	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da Resistência à compressão de tijolos produzidos com solo não tecnogênico.....	51
Tabela 2 - Resultados da resistência à compressão de tijolos produzidos com solo tecnogênico	52
Tabela 3 - Resultados da Ativação Neutrônica	53

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	16
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	16
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	17
1.3	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1	SOLO: USO TECNOLÓGICO E O TECNÓGENO.....	18
2.2	PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO.....	22
2.3	GEOLOGIA MÉDICA	26
2.4	REVISÃO DE LITERATURA: AÇÕES ANTRÓPICAS, SOLO E DEPÓSITOS TECNOGÊNICOS ...	29
2.4.1	<i>Contaminantes geogênicos e a sociedade</i>	30
2.4.2	<i>Uso e ocupação do solo e depósitos tecnogênicos</i>	37
3	PERCURSO METODOLÓGICO	42
3.1	PESQUISA DOCUMENTAL E ANÁLISE DE CONTEÚDO	44
3.2	ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA.....	44
3.3	O SOLO DO DEPÓSITO TECNOGÊNICO E A FABRICAÇÃO DO TIJOLO	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
4.1	ANÁLISE DA NORMA 15575/2005	50
4.2	ENSAIO NORMATIVO DO TIJOLO CERÂMICO.....	51
4.3	ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA E BALANÇO DE MASSA	53
5	CONSIDERAÇÕES	58

1 INTRODUÇÃO

O *modus operandi* do desenvolvimento no Brasil tem produzido um tecido urbano desigual e com reduzida qualidade de vida para a maioria da população. E, considerando as cidades médias amazônicas, o quadro pode ser mais dramático.

A urbanização dos países em desenvolvimento, nos termos de Santos (2012), deu-se de forma tardia e não acompanhada do devido urbanismo. No caso amazônico, como cita Becker (2013), por exemplo, o desenvolvimento ligado a ciclos econômicos não conseguiu dinamizar e desenvolver de forma sustentável a região, resultando em cidades com infraestrutura deficitária.

Os diversos instrumentos jurídicos e urbanísticos, como a Lei de Uso e Ocupação do Solo e o Plano Diretor Municipal, entre outros, por vezes, não conseguem ordenar o território urbano e, somado a isso, os fluxos migratórios induzidos e/ou espontâneos fizeram com que as cidades amazônicas acabassem (como muitas outras no território nacional) sendo densificadas, sem que políticas públicas consigam mitigar os impactos negativos desse processo.

Esse excedente populacional, por conseguinte, necessita de moradia e acaba por ocupar áreas desprezadas pela especulação imobiliária, formando aglomerados subnormais que, por ventura, podem, em uma nova configuração do espaço urbano, tornar-se alvo da especulação imobiliária, causando, com isso, a mobilidade descendente espacial, como de forma pioneira aponta o trabalho da professora Abelém (1989) na região amazônica.

Esse cenário pode levar indivíduos a ocuparem novos espaços na cidade e cercanias, que podem, posteriormente, ser fracamente ligadas à cidade e a seus equipamentos (ABELÉM, 1989). Os conjuntos de habitações de interesse social são uma tentativa de solucionar esse dilema social e histórico.

Contudo tanto as edificações oriundas diretamente da especulação imobiliária como as construções de habitações de interesse social e as autoconstruções apresentam um ponto em comum: demandam materiais construtivos, levando algumas jazidas ao esgotamento, no caso, por exemplo, da busca por solo para fabricação de tijolos. Assim, novas jazidas precisam ser abertas, o que pode representar, por vezes, o surgimento de jazidas próximas das áreas de interesse por esse insumo construtivo, o que reduz os custos logísticos, mas nem por isso minimiza outras problemáticas ligadas à exploração do solo, enquanto recurso natural, próximo a áreas alteradas pela ocupação humana.

O solo, próximo de aglomerados subnormais e mesmo próximo de áreas urbanizadas, pode apresentar contaminações, afinal, a coleta e tratamento de resíduos ainda é uma limitação em âmbito nacional (SCHUELER; KZURE; RACCA, 2018). A utilização indiscriminada de solo, valendo-se de atender apenas ao critério de granulometria, pode representar uma ameaça à saúde humana (KO *et al.*, 2003).

Outro aspecto que pode ser considerado é o incremento de componentes químicos, devido a efluentes urbanos, com isso, podendo representar uma variável a mais no processo de transformação de componentes de construção que utilizem o solo como insumo.

No trabalho de Scarpelli (2003) é possível visualizar o impacto negativo à saúde humana decorrente do uso de materiais na construção civil, quando não se conhece minimamente suas características químicas e mineralógicas. O autor evidencia os impactos inerentes à utilização de solo com rejeito da exploração de manganês, da Serra do Navio (Amapá-Brasil), como aterro.

A área de Geologia Médica investiga, de forma bastante difundida, a interferência de componentes químicos presentes em recursos naturais, quando esses são utilizados pelo homem. Em contrapartida, no caso da Geologia do Quinário, enquanto ramo em desenvolvimento, ainda são escassos estudos de delimitação, padronização e mesmo caracterização de depósitos tecnogênicos.

O termo depósitos tecnogênicos foi proposto por Suertergaray (2000), para definir os depósitos formados a partir da interferência humana ou com interferência humana, no período geológico, ainda em debate, intitulado de Quinário. Oliveira (1995) propôs um sistema de classificação para esses depósitos, nos quais podem existir os: depósitos construídos, induzidos e modificados.

Conforme o trabalho de Oliveira (1995), que define depósitos sedimentares com influência antrópica como “depósitos modificados”, esses depósitos ainda carecem, na literatura acadêmica nacional, de estudos sobre que impactos existiriam na sua utilização na Indústria da Construção Civil. Mesmo na literatura internacional, esse enfoque ainda é escasso.

No caso da cidade de Marabá, sudeste do estado do Pará, Brasil, alguns depósitos estão em áreas próximas de ações movidas pelo Ministério Público Estadual. E foi possível descobrir, por meio de perícia do Centro de Perícias Científicas Renato Chaves, que diversas dessas áreas apresentam contaminação por metais pesados, fato amplamente divulgado pela

imprensa em 2017. O autor desta tese pôde ler o relatório pericial, porém não pôde fazer registro ou cópias deste porque ainda estar em trâmite judicial o processo.

Contudo é notória a possibilidade de que as áreas apresentem componentes químicos devido à influência antrópica, o que permite supor que possam ser considerados depósitos tecnogênicos, nos termos de Suertergaray (2000).

Nesse sentido, esta tese propôs-se em verificar, por meio do balanço de massa, a presença ou não de elementos químicos considerados nocivos à saúde humana, por ventura, no solo extraído de jazidas tecnogênicas após esse solo ser adotado como *input* no processo de transformação de componentes de construção cerâmicos, especificamente, tijolos cerâmicos. Para se verificar a presença desses elementos foi utilizado método de ativação neutrônica.

Por fins investigativos, considerando o contexto geológico do qual o depósito é oriundo e o método experimental adotado, esta tese aplicou um recorte investigativo centrado nos metais pesados.

1.1 JUSTIFICATIVA

A produção do espaço urbano ocorreu, em maioria, de forma desordenada e desigual, reflexo disso são os diversos agrupamentos humanos em áreas de fragilidade ambiental, ou mesmo, loteamentos formais com infraestrutura urbana deficitária, que resultam em uma interação danosa com o meio ambiente urbano.

A ocupação dessas áreas gera um ciclo econômico informal ligado à autoconstrução que demanda material construtivo de baixo custo, o que pode representar, no caso de componentes construtivos cerâmicos, que o solo utilizado na fabricação seja oriundo de jazidas não legalizadas, muitas vezes, próximas de áreas densamente ocupadas, com limitada coleta de esgoto e de resíduos sólidos, o que pode levar a contaminação do solo por compostos químicos.

O solo como um dos principais insumos da indústria ceramista apresenta como principal critério de seleção a granulometria, assim, o principal critério para o controle de qualidade desse insumo, não considera aspectos químicos, por isso, não seria capaz de detectar possíveis contaminações. Todavia a caracterização química desse insumo pode ser necessária para verificar se há evidências de risco à saúde humana.

O processo de transformação do tijolo cerâmico é por calcinação, basicamente, inicia-se com a extração da argila da jazida, sua moldagem e queima. No caso da cidade de Marabá,

sudeste do estado do Pará, Brasil, muitas dessas jazidas estão próximas a áreas de aglomerados subnormais, o que representa, como supracitado, que esse solo possa apresentar contaminações químicas porque essas áreas ocupadas não apresentam infraestrutura mínima, como coleta de esgoto, sendo essa uma característica da maioria das cidades amazônicas.

Em relação a essas áreas, o Centro de Perícias Científicas Renato Chaves investiga, desde 2016, uma possível contaminação no solo. Nesse processo impetrado pelo Ministério Público Estadual, o apelado é uma empresa brasileira de alimentos com filial na cidade de Marabá-PA. Desse modo, existem fortes evidências de que os depósitos sedimentares sejam modificados nos termos de Oliveira (1995), podendo ser considerados, portanto, depósitos tecnogênicos (SUERTERGARAY, 2000). Assim, nessa tese, o solo utilizado na produção dos tijolos é considerando oriundo de um depósito tecnogênico.

Entretanto, quase duas décadas após a proposição do conceito por Suertergaray (2000), a revisão sistemática de literatura realizada para elaboração desta tese não localizou trabalhos que consideram a distinção entre a matéria-prima oriunda de depósitos sedimentares convencionais e de depósitos tecnogênicos. Logo, isso representa uma lacuna de conhecimento na Linha de Pesquisa em Materiais e Componentes de Construção. E, nessa perspectiva, considerando que o processo de transformação de tijolos cerâmicos possa propiciar a liberação para o ambiente de elementos químicos que representem risco à saúde de trabalhadores ligados ao processo de fabricação, é deveras importante a necessidade de pesquisa quanto ao tema. Também deve ser considerar que uma vez, liberados para o ambiente, pode representar diminuição da qualidade de vida, no entorno dessas fábricas, a longo prazo.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

1.2.1 Objetivo Geral

Identificar a diferença de concentração de elementos químicos, considerados nocivos à saúde humana, entre solo oriundo de depósito tecnogênico e o tijolo produzido com tal solo, por meio de balanço de massa, considerando a liberação de efluentes gasosos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Verificar a presença de elementos químicos considerados nocivos à saúde humana em solo oriundo de depósito tecnogênico.
- Quantificar os elementos químicos presentes nesse solo de depósito tecnogênico considerado fornecedor de matéria-prima.
- Quantificar a liberação desses elementos químicos considerados nocivos à saúde humana no produto do processo de transformação empregado na fabricação do tijolo cerâmico.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Essa tese está dividida em 5 capítulos. O primeiro retrata o cenário no qual a problemática apresentada se desenvolve, assinalando a justificativa da relevância deste estudo e seu objetivo focal. No segundo capítulo descreve-se a fundamentação teórica e a revisão de literatura necessárias para iniciar o debate sobre a temática. No capítulo que segue, são individualizados os materiais e métodos que foram adotados para o desenvolvimento deste estudo. No quarto capítulo são expostos os resultados e as discussões iniciais sobre tais resultados; e, por fim, as considerações sobre o trabalho. Na sequência, elencam-se as referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica para iniciar a discussão sobre a problemática abordada, para tanto, a explanação foi estruturada em quatro pontos fundamentais visando à compreensão do objeto de estudo. Inicialmente, discorre-se sobre o solo enquanto insumo e componente do tecnógeno; no próximo item, a pesquisa volta-se à qualidade de conformação do tijolo como um produto constituído basicamente de solo. Adiante, coloca-se ênfase na geologia médica, que é o ramo responsável por estudar a interface de recursos geológicos e contaminações. Por fim, apresenta-se uma breve revisão de literatura, porém de forma não exaustiva, visto que não é o foco desta pesquisa realizar um estudo bibliométrico.

2.1 SOLO: USO TECNOLÓGICO E O TECNÓGENO

A pedogênese é o processo de formação do solo que inicia quando o material inconsolidado começa a apresentar diferenciação em horizontes, diferindo estrutura e texturas em relação ao material de origem (TEIXEIRA *et al.*, 2000). Esse processo de diferenciação está, segundo os autores, ligado a fatores como clima, organismos, relevo, material de origem e tempo. Isso dentro de um ciclo natural de modificação geomorfológica, ou seja, sem a ação do homem.

Entretanto a expansão demográfica e a necessidade de reduzir custos resultaram a exploração de solo em áreas relativamente isoladas e sem ocupação humana proximal, o que foi dando lugar à exploração de solo em jazidas lindeiras ou mesmo na área urbana (SCARPELLI, 2003).

Como a apropriação do solo urbano pelo homem, enquanto agente geológico, leva a uma série de modificações que refletem sobre o processo de pedogênese, de forma intensa comparada a outros momentos da história do planeta, nesse sentido, Ter-Stepanian (1988) propôs o Tecnógeno.

Para esse autor, o Tecnógeno marcaria – não de maneira apenas física, porém com implicações também conceituais –, a partir de um dado momento, com a intensificação da ocupação humana e modificação da paisagem natural –, devido a essa ocupação, as modificações; e os resultados das modificações criariam depósitos que registrariam essa interação.

Pode-se considerar que esse dado momento iniciou na primeira grande Revolução Agrícola (SILVA; DIAS; MATHIAS, 2014) e segue – de forma progressiva e, por vezes, intensiva – até o desenvolvimento socioeconômico oriundo do meio técnico e científico informacional (SANTOS, 1996) que se vivencia na atualidade.

Suertergaray (2000) afirma que os depósitos tecnogênicos são um produto da interação do meio ambiente com o espaço geográfico, assim, o autor considera o homem enquanto um agente geológico, que contribui para causar modificações que irão alterar o produto final do processo geológico atuante naquela porção do planeta, dessa forma, distinguindo-se de uma porção, onde seja mínima a interferência humana.

Assim, os depósitos apresentam uma correlação com a produção antrópica do espaço, as modificações e as interações com as formas de relevo não ficam restritas à ação e à influência do intemperismo, da erosão, do transporte e da sedimentação, ou seja, do ciclo supérgeno. Não que este deixe de ocorrer, mas sua ocorrência apresenta alterações de magnitude e frequência devido à interferência humana. Por isso, no tempo geológico, existiria essa mudança do Quaternário para o Quinário, sendo o tecnógeno um período do Quinário, podendo o Tecnógeno dividir-se em idades, Tecnógeno I e Tecnógeno II (Figura 1).

Figura 1. Acréscimo à Tabela Cronoestratigráfica sugerido por Cunha (2000)

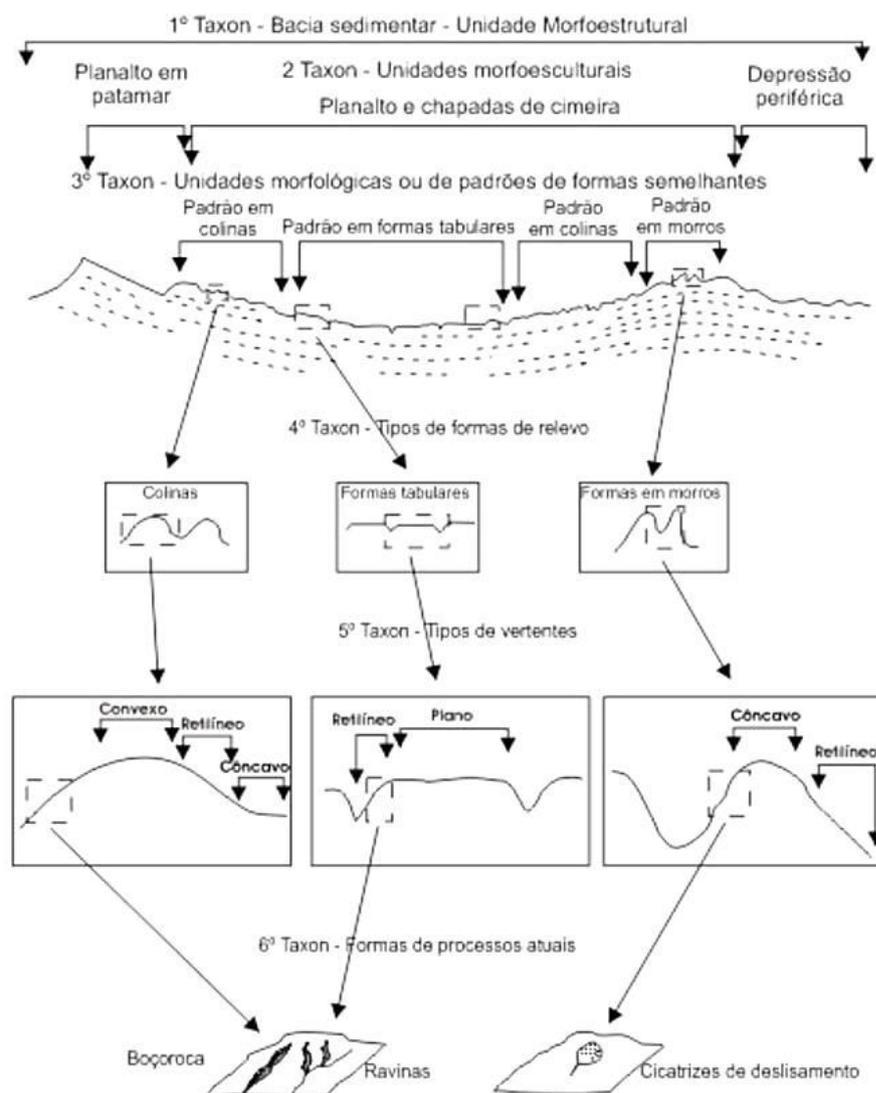
Era	Período	Época	Idade	Características
Cenozóica	Quinário	Tecnógeno	Tecnógeno I	Redução ou eliminação dos impactos gerados no Tecnógeno I
			Tecnógeno II	Eclosão dos desequilíbrios ambientais gerados pela efetuação humana alopoiética; criação da 2ª natureza; passagem da Biosfera I para Biosfera II; início por volta de 10.000 AP
	Antropoceno			
	Quaternário			
	Neógeno (Terciário Superior)			
	Paleógeno (Terciário Inferior)			

Fonte: Adaptado de Cunha (2000).

Contudo, não sendo o desenvolvimento tecnológico da sociedade em igual estágio em todo o globo, nem mesmo em uma porção em escala regional, não se pode esperar que exista uma homogeneidade estratigráfica marcando essa passagem do Quaternário para o Quinário, e, por conseguinte, da acessão do Tecnógeno, afinal, existe uma heterocronia da difusão das técnicas e apropriação do espaço, conforme bem apresentam as ideias de Jane Jacobs (1916-2006) na obra "A Economia das Cidades" (1969).

Conforme o exposto, diversos relevos foram alterados/modificados pela ação humana, tendo como produto dessa interação: os depósitos tecnogênicos. Para estudá-los, pode-se adotar a sistemática proposta por Ross (1992), como se coloca na figura 2, em táxons, podendo a ação humana intervir em diversos níveis, sendo que, de acordo com Peloggia (2014) pode-se notar a presença de depósitos tecnogênicos no quinto e sexto táxon, assim respectivamente, em tipos de relevo e formas de relevo.

Figura 2. Classificação de Táxons proposta por Ross (1992).



Fonte: Ross (1992).

Desse modo, extensos depósitos sedimentares não são apenas oriundos de processos do ciclo supérgeno, mas apresentam modificações significativas da interação antrópica; nesse sentido Oliveira (1995, p.233) identifica os depósitos em: “construídos (aterros, corpos de

rejeito etc.), induzidos (assoreamento, aluviões modernos, etc.), modificados (depósitos naturais alterados tecnogenicamente por efluentes, adubos, etc)".

Assim, ao conceber a resultante da produção do espaço urbano de forma desordenada e desigual, pode-se imaginar que extensas camadas de solo, oriundas de jazidas urbanas, caso tenham contaminação pelos efluentes urbanos, seriam um depósito modificado, nos termos de Oliveira (1995), e que isso, considerando os efeitos dos compostos químicos nas propriedades dos materiais – o que já denotaria necessidade de análise –, segundo o processo de transformação que adote esse solo como insumo, pode resultar na liberação de substâncias tóxicas.

Como material que será empregado em um uso tecnológico, essa distinção de processo de formação, seja oriundo de uma jazida sem perturbações ambientais causadas pela ação humana, ou de uma jazida com modificações devido à ação humana, pode resultar em implicações nas características do produto, mas, acima disso, se esse material apresenta carga de efluente urbano considerável e for submetido ao aquecimento a temperaturas na faixa de produção do tijolo cerâmico, não poderia liberar contaminantes com risco de causar danos à saúde humana?

É válido lembrar que a volatilização do Arsênio e Cromo pode causar doenças cancerígenas (KO *et al.*, 2003; DE LIMA RODRIGUES, 2008) e, conforme Rego, Coêlho e Barros (2014), a queima de resíduos sólidos que contenham Arsênio e Cromo acarreta esse tipo de prejuízos à saúde humana.

Esta tese não pretende realizar estudos estratigráficos, nem tão pouco de relevo ou paisagem, mas, dentro da hipótese levantada, é crucial compreender a compartimentação ambiental da origem de *input*, pois suas características poderão influenciar na composição principal desse *input* do processo de transformação debatido.

O processo de transformação dos componentes de construção civil cerâmicos dá-se ainda em diversos lugares de forma artesanal, dessa maneira, a possibilidade de liberação de elementos químicos nocivos à saúde humana, mesmo que em pequenas proporções, em contrapartida, por um longo período de tempo, pode representar uma ameaça latente aos trabalhadores envolvidos.

2.2 PROCESSO DE TRANSFORMAÇÃO

Slack (2009) define que toda organização, independentemente do porte, apresenta três funções centrais: função *marketing*, função desenvolvimento de produto/serviço e função produção.

A função *marketing* seria a responsável por comunicar ao público consumidor a possibilidade de atender à demanda; a função desenvolvimento de produto/serviço é a responsável por criar e/ou modificar produtos e serviços; e a função produção é a responsável por satisfazer às demandas do público consumidor mediante a produção e entrega do objetivo fim da organização (SLACK, 2009).

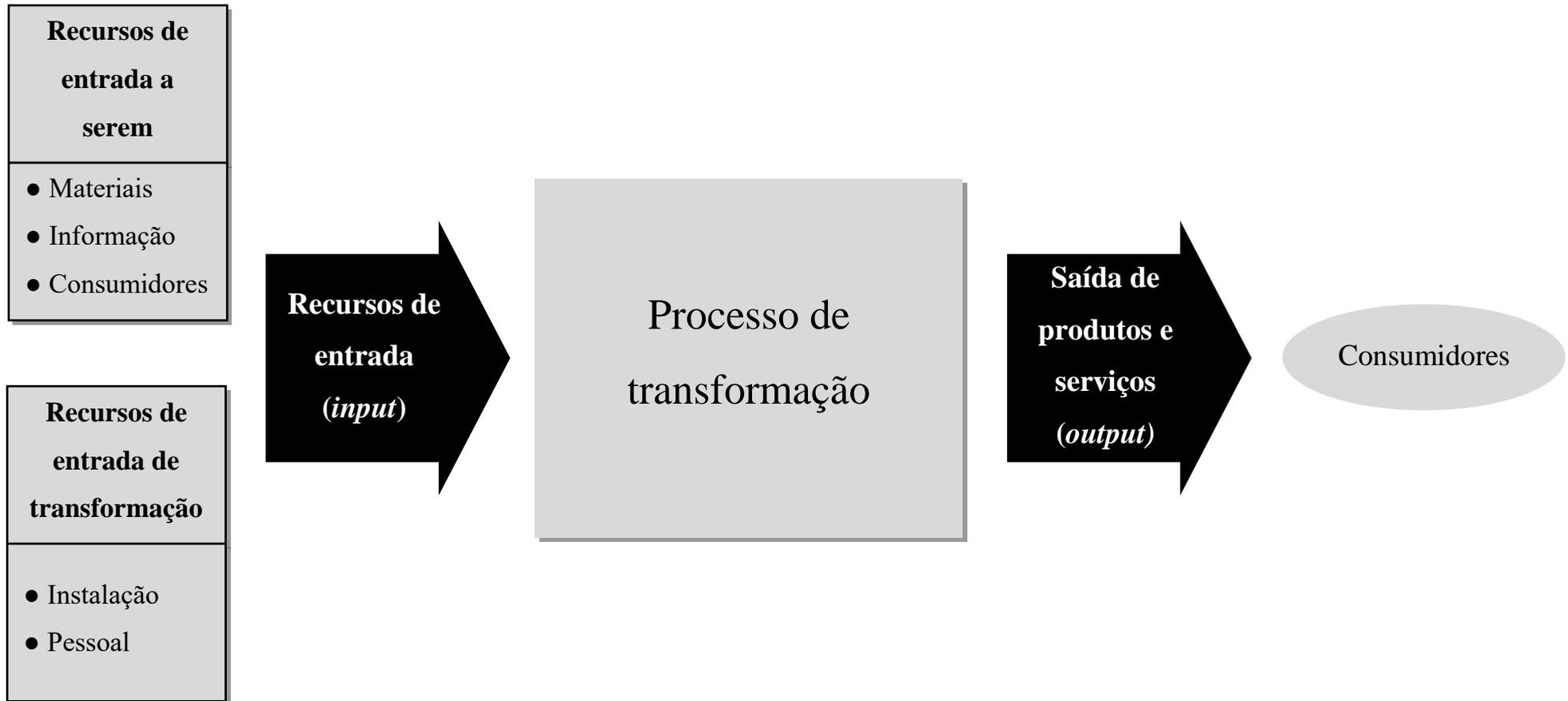
Em organizações de pequeno porte, essas funções, por vezes, podem ser exercidas por uma só pessoa, e, mesmo nas organizações de grande porte, é possível que se adote outra nomenclatura, porém, de acordo com Slack (2009), essas três funções estarão presentes. Segundo o autor, existem funções de apoio, como, por exemplo, as funções contábil-financeira e de recursos humanos, que suprem e apoiam a função produção.

A partir disso, as organizações estruturar-se-ão para atender às suas demandas. A boa gestão dessas funções fará com que as operações necessárias para produzir os produtos e/ou serviços demandados pelos clientes possam ser atendidas. Para isso, existirão entradas, *inputs*, que serão transformados de acordo com uma dada técnica e gerarão saídas, *outputs*. A essa dada técnica, Slack (2009) intitula: processo de transformação (Figura 3).

Os *inputs* podem ser os conjuntos de recursos em que se tenha a necessidade de conversão em um produto ou serviço, podendo ser materiais, informações, consumidores, etc. Os *outputs* são o resultado do processo de transformação, podendo ser um produto ou serviço (GAITHER; FRAZIER, 2002).

Em razão de que todo serviço e produto são destinados a um ou mais clientes, e de que se não existissem demanda, não se poderia, dentro de um equilíbrio econômico-financeiro, existir produção, compete aos produtos e serviços atenderem ao que se destinam: satisfazer o cliente. Uma abordagem para alcançar isso é conceber os clientes tanto no sentido de consumidores quanto também como clientes internos, como *stakeholders*, ou seja, partes interessadas, pessoas ou grupos de pessoas que podem influenciar positiva ou negativamente as atividades (VALLE *et al.*, 2014).

Figura 3. Fluxograma do processo de transformação proposto por Slack (2009).



Fonte Slack (2009).

Para atender a essas partes interessadas, Slack (2009) apresenta os objetivos de desempenho, estes relacionados às tarefas básicas necessárias para satisfazer as exigências dos clientes, sendo eles, de acordo com o autor: Objetivo de Velocidade, Objetivo de Confiabilidade, Objetivo de Flexibilidade e Objetivo de Qualidade.

O objetivo de velocidade seria produzir de forma a reduzir o tempo de espera para atender à demanda, enquanto que o objetivo de confiabilidade, por sua vez, consistiria em atender à demanda em tempo hábil, por fim, o objetivo de flexibilidade consideraria as externalidades que podem acontecer e impactar negativa ou positivamente, mas restando a produção preparada para se adaptar às mudanças de condições (SLACK, 2009). Para esse autor, o objetivo de qualidade está intrinsicamente ligado às características esperadas dos *inputs*, pois dependerá delas para conseguir ser coerente com as expectativas do cliente.

Paladini (2012) define qualidade “como um conjunto de atributos ou elementos que compõem o produto ou o serviço”. Já para Garvin (1992), a qualidade é baseada em oito dimensões: Desempenho, Características secundárias, Conformidade, Confiabilidade, Durabilidade, Atendimento, Estética e Qualidade Percebida.

Segundo Garvin (1992) a dimensão de desempenho significa que o produto funcionará conforme o estipulado. Para esse autor, as características secundárias seriam um grupo de requisitos que não são os focais do produto, porém influenciam-no, complementando o essencial, enquanto que a conformidade seria o grau que o produto atende aos padrões formalmente instituídos, e a durabilidade trata-se da possibilidade de mau funcionamento do produto. O atendimento seria relativo às características que podem afetar a percepção do cliente em relação ao produto, já a estética seria em relação à sensação que o produto desperta no cliente (GARVIN, 1992). E, por fim, o autor define que a qualidade percebida seria a imagem simbólica que o produto possui.

Garvin (1992) também definiu abordagem para se tratar a qualidade, sendo: Transcendental (inata), Centrada no produto, Centrada no Valor, Centrada na Fabricação e Centrado no Cliente. Adotada a abordagem centrada na fabricação (GARVIN, 1992), esta tese considera a dimensão da Conformidade. Nessa visão, a qualidade de conformação seria quando o produto apresenta as características esperadas, predefinidas para ele, ou seja, o produto está em conformidade com um padrão estabelecido.

Desse modo, considerando o tijolo cerâmico vazado, por sua função no sistema construtivo, em geral, quando empregado, não ser de caráter estrutural, ele acaba não

apresentando tantos parâmetros de controle como o concreto, por exemplo, como demonstram Metha e Monteiro (2008).

Esse fato leva ao que pode ser percebido empiricamente com facilidade, por exemplo, na variação diametral dos tijolos cerâmicos de um mesmo lote (chamado de *milheiro*). Apenas essa variação evidencia um padrão de qualidade pouco desenvolvido na indústria da construção civil ligada à produção desse produto, o que pode ocorrer devido ao não estímulo aos fornecedores para melhorarem o processo de transformação (GARVIN,1992).

Se essas condições mínimas ligadas ao tamanho do produto não foram ainda sanadas, a composição química está longe de ser uma realidade de controle tecnológico. Entretanto a não vigilância sobre composição química de um material construtivo já se mostrou nociva, como o caso das telhas que continham amianto (MENDES, 2001).

Conforme Formoso e Ino (2003), urge que a indústria da construção civil inove e modifique seu paradigma de atividades, desatrelando a mentalidade, por vezes, de método artesanal de produção e avance tecnologicamente. Contudo, 15 anos após a publicação do trabalho desses autores, pode-se perceber que o processo de transformação do tijolo cerâmico vazado pouco se modificou na região sudeste do estado do Pará.

Esses autores identificam que essa mudança é necessária não apenas por questões de mercado e qualidade dos produtos em si, mas, também, para promover uma melhor qualidade de vida cidadina. Afinal, a baixa qualidade de um elemento construtivo pode ocasionar o surgimento de patologias e a diminuição da vida útil e comprometimento do desempenho da edificação.

Mesmo com o advento da Norma Brasileira Regulamentadora (NBR) 15575/2013, ainda não são evidentes os meios de alcançar as características fundamentais para apresentar um desempenho satisfatório ao longo da vida útil. Esses caminhos precisam ser trilhados para que as demais normas específicas dos produtos utilizados na indústria da construção civil tenham parâmetros de qualidade de conformação, que torne possível uma cultura de critérios superiores de qualidade. No caso do solo, é preciso evoluir de uma concepção meramente granulométrica e desenvolver uma visão dele enquanto um insumo, que pode influenciar propriedades físico-químicas do produto.

2.3 GEOLOGIA MÉDICA

Selinus *et al.* (2005) apresentam uma relação de causa e efeito ligada à interação dos elementos e compostos químicos presentes no meio ambiente, ou introduzidos no meio ambiente devido à ação humana, e a saúde da sociedade. Os autores evidenciam que muitos fatores podem estar correlacionados ao comprometimento da saúde de uma dada população, entretanto é fundamental verificar se, entre as possíveis causas, alguma delas é devido à exposição a elementos ou compostos químicos nocivos.

Esses elementos químicos ou compostos químicos nocivos podem ser chamados de contaminantes geogênicos (BUNDSCHUH *et al.*, 2017). A exposição da população global a eles, assim como as consequências disso, ainda, é pouco estudada na busca etiológica das doenças que correlacione a biodisponibilidade, bioacessibilidade, mecanismos de exposição e mobilidade de maneira holística (BUNDSCHUH *et al.*, 2017).

O estudo sobre os impactos ecotoxicológicos, de acordo com Bundschuh *et al.* (2017), está correlacionado aos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável na Agenda 2030, das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável.

No tocante a esse aspecto, a geologia médica emerge como um ramo da ciência que se dedica a correlacionar não apenas as interações naturais dos materiais geológicos no meio ambiente e o contato deles com o homem, e/ou do homem com um meio ambiente no qual exista a presença de elementos ou compostos em concentrações naturais, porém, nocivas à integridade da saúde humana; mas esse ramo também se preocupa em encontrar explicações e medidas que permitam compreender o adoecimento da população ligado a desequilíbrios geoquímicos induzidos pela atividade humana (WARDROP; LE BLOND, 2015).

Para Wardrop e Le Blond (2015), a geologia médica utiliza-se de métodos complementares, como caracterizações socioeconômicas, socioambientais e socioespaciais, atrelados a informações de mobilidade, por meio do Sistema de Posicionamento Global (GPS), pois, além dos conhecimentos da geologia, seriam necessários os conhecimentos da engenharia para que sejam construídos modelos explicativos do padrão da exposição aos contaminantes geogênicos e sua dispersão no ambiente em consequência das ações antrópicas.

A heterogeneidade espacial, segundo esses autores, é um dos fatores que leva à complexidade da abordagem e necessidade de mapeamentos, pois as diferentes apropriações do espaço permitem distintos vetores de exposição aos contaminantes geogênicos.

Assim, o ambiente construído está assentado sobre o solo, e, desse modo, é interativo com a paisagem circundante. Devido a isso, é necessário considerar as características paleogeológicas porque essas características, como, por exemplo, o material do substrato, irão influenciar na evolução da paisagem, como também gerar particularidades como reações perante as ações antrópicas (BJØRKLUND *et al.*, 2017).

Consideradas essas ações antrópicas, não exclusivamente, mas somadas aos processos de transformação que utilizam materiais geológicos como *input* de seus processos, a geologia médica lidará com os estudos da rastreabilidade dos benefícios e malefícios oriundos da utilização desses materiais (SELINUS *et al.*, 2011).

Com a compreensão da distribuição geoquímica e a interatividade dos elementos e compostos químicos naturais com os induzidos pelo homem, é possível correlacionar a distribuição geográfica de enfermidades com fatores ambientais e sociais (SELINUS *et al.*, 2011).

Assim, segundo Orem *et al.* (2001), é preciso estudar o ambiente construído para compreender as rotas de exposição possíveis que os processos de transformação adotados podem fornecer para contato do homem com o contaminante geogênico. Para esses autores, a toxicologia tem apresentado muitos avanços na identificação das toxinas que causam enfermidades e explicado alterações metabólicas nocivas decorrentes da exposição, contudo ainda se carece de mais estudos que identifiquem as áreas que são os principais facilitadores de fornecer xenobióticos ou mesmo estimular sua produção pelo organismo.

Esses mesmos autores definem xenobióticos como compostos estranhos a um organismo, ou que, em condições padrões, não são encontrados no organismo e, devido à influência dos materiais geológicos, seja por eles em si, ou por eles apresentarem alteração da concentração dos seus elementos e compostos, acabam por causar adoecimento.

Conforme Li *et al.* (2012), é válido ressaltar que não apenas a identificação de contaminantes geogênicos ou influência negativa antrópica geoquímica, mas também a investigação da carência de elementos necessários à saúde humana estão no escopo de investigações da Geologia Médica.

Segundo esses autores, a pesquisa de doenças endêmicas, seja pela abundância ou escassez de elementos ou compostos químicos, naturalmente, em uma área, também, é de interesse de pesquisa da Geologia Médica, pois essa característica geoquímica identificada pode servir de atributo em um processo de tomada de decisão para mitigação da problemática.

Para isso, todavia, é preciso encontrar os dados necessários que permitam gerar as informações sobre as áreas com o intuito de identificar características esperadas e perturbações. Rocha e Ferreira da Silva (2014) afirmam que a identificação dos materiais geológicos de uma área pode ser critério para direcionar seu uso e sua ocupação. Assim, uma vez identificados, podem ser dados outros usos, muito além da exploração mineral, nos termos de mineração, e podem desenvolver programas de geoturismo a partir da valorização da geodiversidade.

Licht (2001) refere que a caracterização geoquímica se mostra um meio eficaz de identificar possíveis riscos à saúde humana ligados a áreas favoráveis para a prospecção mineral. A caracterização geoquímica de contaminantes e o risco à saúde humana são comumente entendidos na área de recursos hídricos, por exemplo, em estudos como o apresentado por Mesquita *et al.* (2014), a respeito da contaminação da água utilizada para dessedentação humana, que, no caso específico do apresentado pelos autores, não era fator mineralógico natural, mas o recurso natural que apresentava contaminação devido a ações antrópicas.

Tal qual a água, o solo é um recurso natural explorado, não com a mesma finalidade essencial, porém passível de apresentar contaminação e, por isso, pode ter alterações de suas propriedades físico-químicas, como também representar risco à saúde dos trabalhadores dependendo do processo de transformação que seja empregado.

Diversas ocupações humanas apresentaram problemas ligados à não caracterização mineralógica de elementos construtivos; para citar um exemplo amazônico, o trabalho de Scarpelli (2003) focaliza a contaminação por arsênio em material utilizado como aterro nas ruas de Santana, município brasileiro no sudeste do estado do Amapá.

Assim, a problemática configura-se com um dilema, não apenas da área da Geologia Médica, como também o é da área da Engenharia de Construção Civil, vinculado à qualidade de componentes e materiais de construção.

Esta tese não pretende enveredar por estudos toxicológicos e ocupacionais, contudo pretende contribuir para a área iniciando os estudos sobre a possibilidade de existência de contaminantes geogênicos nos depósitos tecnogênicos investigados.

2.4 REVISÃO DE LITERATURA: AÇÕES ANTRÓPICAS, SOLO E DEPÓSITOS TECNOGÊNICOS

Esta revisão de literatura não é exaustiva, apenas, elucida como está o desenvolvimento de pesquisas em temas que são correlatos à hipótese desta tese.

Para a construção da revisão de literatura, adotou-se a técnica de revisão sistemática de literatura, que consiste na definição dos termos de busca utilizados para encontrar artigos nos indexadores de publicações científicas, sendo definidos filtros para seleção desses. Os termos de busca adotados foram contaminantes geogênicos, depósitos tecnogênicos, componentes de construção civil cerâmicos, contaminações no solo e metais pesados no solo. Foram utilizados em português, como também em língua inglesa devido à predominância de publicações neste idioma.

Os filtros definidos foram: 1) Leitura do título do artigo; 2) Leitura do Resumo do Artigo e 3) Leitura do artigo na íntegra. Um artigo passava para o filtro seguinte caso tivesse correlação com o tema em tela. A totalidade do material identificado pode ser visto na figura 4. Nas próximas seções, as publicações selecionadas são examinadas.

Mais detalhamentos dos procedimentos da revisão sistemática de literatura podem ser encontrados em Petersen *et al.* (2008) e Kitchenham (2004).

Figura 4. Resultado da Revisão Sistemática de Literatura.



Fonte: Autor (2018)

A revisão sistemática de literatura não identificou publicação que abordasse, especificamente, sobre investigação da permanência dos contaminantes geogênicos, nos produtos cerâmicos do processo de transformação, que adota como *input* solo de depósitos tecnogênicos.

2.4.1 Contaminantes geogênicos e a sociedade

Pereira *et al.* (2009) apresentaram os impactos decorrentes da utilização do rejeito de manganês como aterro na cidade de Santana, estado do Amapá. No referido trabalho foram avaliados os motivos para que esse rejeito tenha gerado um impacto negativo ao ecossistema. Dentre as principais problemáticas abordadas, estava a elevada concentração de Arsênio mantida na última etapa do processo de transformação e que gerou esse resíduo.

A presença de Arsênio não é uma característica comum do rejeito de manganês, conforme o trabalho de Nascimento (2015), que estudou o rejeito de manganês da exploração realizada na Serra da Buritirama, Marabá-PA. O Arsênio é um produto do processo de beneficiamento empregado em uma etapa da exploração, sem essa etapa, que não está presente na exploração realizada na Serra da Buritirama, o rejeito da exploração pesquisada pelo autor, pode ser utilizado. Diferentemente do caso apresentado por Pereira *et al.* (2009), na cidade de Santana-AP.

Do mesmo modo que modificações no processo de transformação podem representar que um dado rejeito possa ser utilizado ou não, modificações nos recursos naturais podem significar alterações em suas propriedades físicas e químicas. Dentro da hipótese desta tese, tais modificações seriam devido às ações antrópicas.

O trabalho de Mehr *et al.* (2017) demonstra que em razão da ação das indústrias, da mineração e do próprio tráfego, não apenas das atividades industriais, mas também da mobilidade urbana, 23 cidades da Província de Isfahan, no Irã central, estão com o solo contendo contaminações por metais pesados (Arsênio, Cádmiio, Cobalto, Cromo, Cobre, Níquel, Chumbo e Zinco). De acordo com o trabalho dos pesquisadores, o índice de câncer atingiu escalas alarmantes se comparados com áreas vizinhas.

Desse modo, contudo, desde que a obra "Primavera Silenciosa", de Rachel Carson, (1969) foi divulgada, é de consenso na comunidade científica que atividades humanas podem gerar impactos negativos ao meio ambiente. Mas, além disso, o uso dos recursos naturais de um meio ambiente doente pode representar riscos à saúde humana.

Para Mehr *et al.* (2017), embasados no trabalho de Li *et al.* (2001), os componentes como pneus, partilhas de freio e lubrificantes de óleo poderiam ser a fonte das elevadas concentrações de cádmio, cobre, chumbo e zinco no ambiente.

Xia *et al.* (2011), também pesquisando sobre a presença de metais pesados no solo, criaram uma correlação entre os metais pesados no solo e o uso e ocupação. Por mais que, no trabalho desses autores, o solo em si não tenha sido utilizado, como um *input* para o processo de transformação de um produto, a partir da correlação proposta pelos autores, o uso e a ocupação para fins educacionais de uma área tornou-se problemático devido ao fato que, em um passado recente, a mesma área estava sobre influência da manufatura têxtil.

Os pigmentos característicos utilizados por essa manufatura acabaram por alterar negativamente o solo, levando os autores a concluírem que as concentrações de Cobre, Chumbo e Zinco apresentavam tendências decrescentes do centro para o subúrbio de Pequim, aumentando com a idade da área urbana, o que deveria ser considerado pelo planejamento territorial.

No trabalho apresentado por Mehr *et al.* (2017), por mais que não seja utilizada a nomenclatura “depósitos tecnogênicos”, os autores concluem que, sem medidas de mitigação, caso ocorra a expansão das práticas industriais para outras áreas, o solo dessas áreas terá um comprometimento quanto ao uso.

No trabalho de Mehr *et al.* (2017), o solo aparece como substrato material espacial, esse uso, enquanto anteparo da produção humana, representa que o efeito da contaminação do solo por metais pesados gerará uma interação ecossistêmica nociva, minorando esse recurso territorial pela limitada possibilidade de convivência em um ambiente contaminado.

Amjadian *et al.* (2016) estudaram a contaminação do solo por metais pesados em Erbil, capital do Curdistão iraquiano, e encontraram elevadas concentrações de Cádmio, Cobalto, Cromo, Cobre, Níquel, Chumbo e Zinco, sendo que o índice de geoacumulação, que consiste na comparação das concentrações totais de metais pesados com o fundo geoquímico natural (*background*), nas áreas agrícolas, era comprometedor, limitando o uso para este fim. A possível fonte de contaminação apontada pelos autores reside na densidade de tráfego pesado incidente sobre a área.

Benhaddya *et al.* (2016) estudaram os riscos associados a metais presentes no solo urbano e aerodispersóides na cidade de Hassi Messaoud, sudeste da Argélia. De acordo com os pesquisadores, a adsorção dérmica é uma via de eminente contaminação, sendo mais

susceptíveis as crianças quando expostas. Para os autores, a contaminação do solo está diretamente ligada à indústria petrolífera.

Como esses pesquisadores estudaram aerodispersóides, recordando do ciclo supérgeno (intemperismo, erosão, transporte e sedimentação), o vento é um dos agentes de transportes, assim, percebe-se que, por mais que os autores não tenham utilizado o termo depósito tecnogênico, eles evidenciaram que a ação antrópica alterou a composição química do material transportado pelo agente de transporte, e que a moradia na área de influência da indústria poderia estar muito próxima do limiar de aceitabilidade para índice de perigo à saúde humana, adotado no trabalho deles.

Percebe-se que, no trabalho de Benhaddya *et al.* (2016), além da consideração do solo enquanto substrato material espacial, eles discorrem sobre a interveniência da ação antrópica em um ciclo natural de denudação do relevo (ciclo supérgeno) e o impacto negativo de morar na área de deposição. Na presente pesquisa, adotou-se chamar de depósito tecnogênico, na acepção dada por Peloggia (1996), a área de deposição identificada pelos autores.

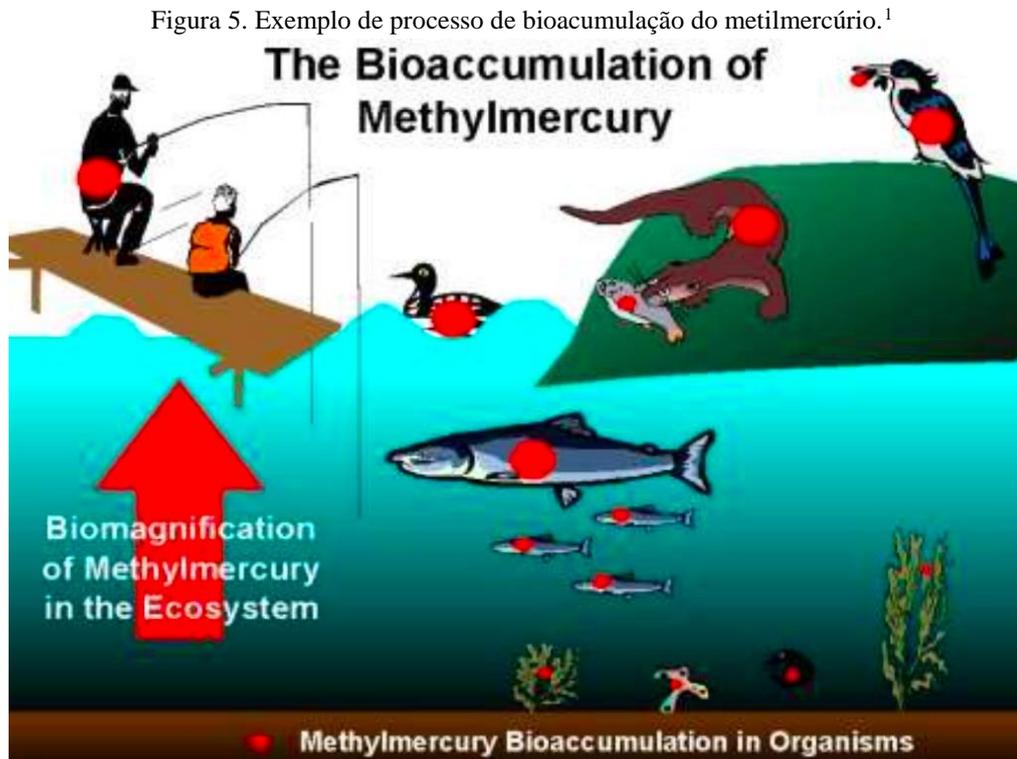
Cao *et al.* (2014), a partir de coletas de sangue, demonstraram que a ingestão de alimentos produzidos próximos da maior fábrica de coque da China causavam contaminação e adoecimento de crianças, apesar de o solo não apresentar valores além dos limites aceitáveis de Arsênio, Selênio e Chumbo.

Assim, esses pesquisadores puderam evidenciar que, apesar de não existir uma contaminação que violasse os padrões adotados, as alterações físico-químicas causadas no solo, pela planta industrial, poderiam estar ligadas ao risco do desenvolvimento de doenças cancerígenas e não cancerígenas, pois os sedimentos transportados pelo ar (aerodispersóides) estariam modificando as concentrações químicas naturais dos constituintes do ciclo supérgeno.

Desse modo, o trabalho desses autores também é capaz de demonstrar que o uso e ocupação do solo pode ser considerado apto, dentro de padrões vigentes, contudo, os agentes denudacionais, por sofrerem influências das ações antrópicas, podem acarretar na modificação das características físico-químicas e, de forma acumulativa, alterar os sedimentos, e, por conseguinte, o que for produzido a partir dele.

É válido lembrar que, na cadeia alimentar, o efeito de contaminações químicas é acumulativo, conforme as contribuições didáticas dos livros de Shammass (2013) e Brown (2009); assim, se o solo apresentar uma contaminação por um dado metal pesado, o alimento que nele for produzido poderá apresentar um acúmulo resultante maior do que o solo possuía,

e o ser humano que ingerir esse alimento apresentará uma quantidade superior no seu organismo, por conseguinte (Figura 5).



Fonte: Autor desconhecido.

Guagliardi *et al.* (2012), em seu estudo no sul da Itália, nos solos urbanos e periurbanos de Cosenza-Rende, dando ênfase a Arsênio, Cromo, Chumbo, Vanádio e Zinco, determinaram a concentração e distribuição espacial desses metais pesados. Além disso, esses autores correlacionaram que a natureza primeira do material de substrato foi modificada, afirmando que a influência da ação antrópica no seu entorno, no caso do estudo desses autores, foi atribuída à ação do tráfego urbano, causava uma alteração do padrão de concentração dos metais pesados no solo.

Dada a correlação defendida pelos autores nesse trabalho, é exposta a importância de considerar uma informação conjunta da distribuição espacial de metais pesados, que conste

¹ Disponível em:

<<http://www.ortomoleculardrhigashi.med.br/not%C3%ADcias/62/intoxicacao-cronica-e-aguda-por-metais-pesados-na-pesquisa-ortomolecular>>.

também dados a respeito do substrato e do uso e ocupação do solo. Dessa forma, tal informação seria usada não apenas para apoiar tomadas de decisão de gestão territorial, mas para aferir possíveis tendências que a área pode apresentar devido à interação do material de substrato e a intervenção humana.

Nessa linha de atuação, o trabalho de Giaccio *et al.* (2012), realizado na Nápoles-Itália, aponta como um resultado nocivo dessa alteração da distribuição e geoacumulação dos metais pesados no solo a redução da fertilidade humana. Os autores apresentam essa conclusão a partir de concentrações anômalas de Chumbo e Antimônio em homens com baixa qualidade de sêmen.

Com a caracterização geoquímica do solo e a geologia regional, construiu-se um modelo explicativo que evidenciou que as alterações nas características do solo – dada a conformação do substrato natural – acabaram por impactar negativamente o uso do solo, minimizando a qualidade de vida urbana da área estudada.

Nessa linha de raciocínio, diversos outros estudos, como os apresentados por Monaco *et al.* (2015), Zahra *et al.* (2014), Zhao *et al.* (2014), Alharbi, *et al.* (2017), Durkee *et al.* (2017), Wang *et al.* (2017), Singh *et al.* (2017), Sun; Zhang (2017), Mukwaturi; Lin (2017), Bromstad *et al.* (2017), Nezat *et al.* (2017), Wen *et al.* (2017) e Kemper e Rattan (2017), apresentam um íntima relação entre atividades antrópicas e modificação das características químicas do solo quanto à concentração de metais pesados, mesmo que essa concentração em alguns casos esteja dentro dos valores toleráveis. Considerando o dinamismo da apropriação humana e da aceleração historicamente vista da capacidade de alteração do meio, é preocupante que se torne uma tendência de aumento das concentrações de metais pesados até que se superem os limites toleráveis.

O trabalho de Edenborn *et al.* (2017) revela uma preocupação em encontrar um meio economicamente viável de remediar essas alterações, para que o solo possa ser utilizado para outros fins produtivos. Percebe-se, com isso, que os autores, além de considerar as alterações do solo pela ação antrópica, apresentam uma preocupação quanto ao uso do solo enquanto recurso.

Edenborn *et al.* (2017) sugerem a construção de modelos de gestão que incorpore requisitos e critérios que possam abarcar as alterações, pois, sem isso, segundo os autores, existe a construção de uma trajetória que ruma ao desperdício de recursos vitais para

economicidade das organizações, que trará, no seu bojo, a elevação dos custos produtivos e limitação do mercado.

Joimel *et al.* (2017) apontam que é preciso encontrar indicadores que permitam acompanhar essa evolução da alteração química do solo e apresentam o acompanhamento da biodiversidade de artrópodes como uma forma de avaliar se um dado ambiente está com alterações significativas, em um limiar que ainda é possível não representar risco à saúde humana.

Mesmo que o indicador apontado por Joimel *et al.* (2017) possa parecer de difícil manuseio para a Engenharia de Construção Civil, é necessário recordar que equipes de trabalho devem buscar sempre incorporar uma visão holística, para isso, faz-se necessária a transdisciplinaridade.

Nessa linha de pensamento, o trabalho de Li *et al.* (2015), sobre a utilização de solo contaminado no processo de transformação do cimento, apresenta uma tentativa de que, apesar de o solo estar com suas características alteradas quimicamente, ele continua sendo *input*. Os autores verificam se essas alterações podem ter interações negativas no processo de transformação em razão do solo ser submetido à elevação de temperatura, com isso, diminuindo sua eficiência. Os autores demonstram que se faz necessário estudar se o comportamento do cimento produzido a partir deste insumo terá impactos negativos na sua qualidade de conformação.

Fã *et al.* (2017) defendem que é de extrema urgência a implementação de um ecossistema industrial, no sentido de construir modelos matemáticos para gestão equilibrada de recursos naturais e sociais; e essa correlação dialética entre o meio ambiente natural e o meio ambiente construído (antrópico) seria crucial para minimizar o desperdício de recursos, como também das alterações decorrentes da apropriação do espaço.

Para Huysegoms e Cappuyns (2017), alcançar-se-ia esse cenário quando no processo de tomada de decisão fossem embutidos critérios capazes de avaliar as alterações dos recursos naturais devido à ação antrópica. Segundo os autores é preciso que se debata a Análise de Ciclo de Vida para que seja incorporada a avaliação das influências antrópicas ao meio ambiente, em decorrência do processo industrial.

A partir dessa etapa, de acordo com Huysegoms e Cappuyns (2017), poder-se-ia escolher, inclusive, as medidas mais sustentáveis para remediação de áreas que sofreram alterações e buscar um novo equilíbrio que permita que os recursos possam continuar disponíveis por mais tempo.

Os processos decisórios de intervenção construtivas, seja de infraestrutura, seja de exploração de recursos naturais, necessitam considerar as influências que farão sobre o substrato, e, por conseguinte, sobre a paisagem. Nesse aspecto, Ferro-Vázquez *et al.* (2017), apresenta o estudo utilizando estratigrafia, geoquímica e micromorfologia para estudar os efeitos das intervenções construtivas sobre evolução da paisagem e a qualidade do solo.

Esses autores demonstraram, em sua pesquisa, que as ações de modificação induzidas pelo homem, além de alterar o ciclo natural de denudação do relevo, causam impactos negativos, como também acabam por causar perdas significativas nas características do solo, limitando e/ou piorando seu desempenho.

Por fim, no trabalho de Alekseenko *et al.* (2017), sobre metalização em decorrência da exploração mineral, os autores utilizam o termo tecnogênico para designar as áreas que tiveram suas características geoquímicas modificadas devido à exploração. Os autores apontam que o processo de metalização é um processo natural dentro dos ciclos de alteração da superfície do planeta, contudo as técnicas não eficazes de gestão dos rejeitos do processo acabaram por alterar negativamente diversas áreas da Rússia, Cazaquistão e Ucrânia, estudadas na pesquisa de Alekseenko *et al.* (2017).

Por mais que os autores adotem o termo voltado para um processo, e não para a materialização do processo, que seriam os depósitos alterados, eles apontam como os teores de metais se modificaram nas áreas para além do que seria naturalmente esperando, conhecidos teores de áreas homologas, historicamente monitoradas.

O trabalho indica que as alterações geoquímicas, em decorrência da remediação malsucedida, conseguiram, em curto espaço de tempo, modificar significativamente o solo e a água, fazendo com que os ciclos de nutrientes da área fossem alterados, e, em decorrência, disso, ocorresse o comprometimento de diversas áreas para outros usos após o fim da atividade de exploração mineral, como também o uso do solo, enquanto recurso mineral, por ter suas características químicas modificadas negativamente.

Logo, a região da Amazônia Oriental, palco de explorações minerais, está sujeita, em um curto intervalo de tempo, a vivenciar as alterações que as regiões estudadas nos trabalhos anteriormente citados passaram, todavia em um ritmo ainda mais veloz e dinâmico, porém, em relação a maior parte dos lugares citados nos trabalhos, a Amazônia conta com mais recursos disponíveis para planejamento de ações condizentes com a sustentabilidade.

2.4.2 Uso e ocupação do solo e depósitos tecnogênicos

Moreira-Silva *et al.* (2017), estudando a distribuição espacial das falhas geológicas do município Presidente Prudente, localizado no extremo oeste do estado de São Paulo, Brasil, detectaram a liberação de gás radônio durante o decaimento radioativo do urânio e do tório, resultando na formação de isótopos de Chumbo ^{210}Pb , ^{208}Pb , ^{207}Pb e ^{206}Pb .

Os pesquisadores constaram que o aumento da concentração de Chumbo, conforme aumenta a profundidade do solo, é uma ocorrência geoquímica natural, contudo representa uma ameaça à saúde humana que precisa ser considerada no caso de uso e ocupação desse solo. Outro aspecto relevante é que no caso de modificações do relevo, por exemplo, a remobilização do solo, pode figurar como um vetor potencial de liberação dessas concentrações para subsuperfície.

No trabalho de Chmielewska *et al.* (2014), estudando radionuclídeos ^{226}Ra e ^{228}Ra presentes naturalmente nas águas subterrâneas da Alta Silésia, Polônia, os autores perceberam que, por mais que o tratamento das águas estivesse sendo efetivo, era preocupante que os resíduos desse tratamento não estivessem recebendo a devida atenção.

A disposição sem qualquer controle poderia resultar em uma contaminação ambiental grave, modificando a longo prazo a área, resultando na alteração significativa das propriedades físico-químicas do solo e do ecossistema (CHMIELEWSKA *et al.*, 2014).

Tanto Moreira-Silva *et al.* (2017) como Chmielewska *et al.* (2014) lidavam com características intrínsecas geoquímicas da área, que se tornaram ameaçadoras não apenas pela aproximação urbana, mas pelas modificações impostas. Essas modificações não estavam considerando fatores geológicos que incidem sobre as áreas, resultando em profundas alterações nos sedimentos após as ações interventoras antrópicas, que, por conseguinte, podem resultar em depósitos distintos aos quais seriam produzidos pelo ciclo denudacional natural, logo, podem estar produzindo depósitos tecnogênicos.

França Júnior e Souza (2014), estudando o noroeste do Paraná, perceberam que o processo de produção do espaço urbano associado à fragilidade do material pedológico e das rochas do substrato, resultaram em uma alteração do compartimento geomorfológico da área, ocasionando a formação de depósitos tecnogênicos que registram as etapas e os ciclos, salvo algumas obliterações, da edificação da sociedade sobre a natureza.

A evolução do uso e da ocupação do solo resultou na modificação progressiva e intensiva do talvegue, culminando na oneração da área, pela necessidade de intervenções

construtivas paliativas para contenção dos desequilíbrios ambientais nocivos à manutenção da exploração da área (FRANÇA JUNIOR; SOUZA, 2014).

Silva *et al.* (2014), analisando estudos de caso na cidade de Goiânia, no estado de Goiás, São Pedro e Presidente Prudente, no estado de São Paulo, comprovaram que os depósitos tecnogênicos dessas cidades materializam o processo histórico de uso e ocupação do solo, inclusive, apresentando heterocronias ligadas a ciclos econômicos distintos entre as cidades.

Os materiais sedimentares acrescidos são testemunhos de diferentes atividades humanas ao longo do processo histórico de ocupação das áreas, configurando, contudo, um quadro de fragilidade socioambiental que demanda por medidas mitigadoras (SILVA *et al.*, 2014).

Os depósitos tecnogênicos por vezes são inseridos na dinâmica do capital e, por terem suas características pouco conhecidas ou ignoradas as implicações ambientais, em razão de terem uma gênese distinta de seu substrato quaternário, acabam por se tornar vetores de comprometimento da qualidade de vida urbana (SILVA *et al.*, 2014).

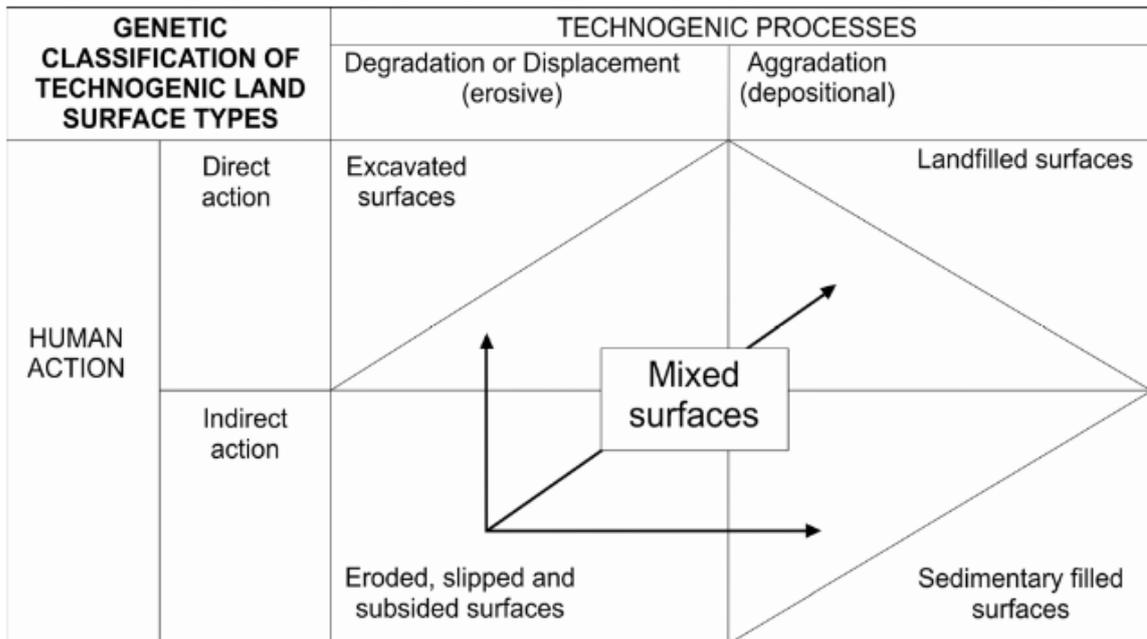
Essa intensificação das alterações dos processos naturais, para Silva *et al.* (2014), modificando a frequência, dinâmica e diversidade, são o anteparo para proposição do Quinário na região, coadunando com formação de ambientes altamente antropizados.

Peloggia *et al.* (2014), estudando duas áreas de depósitos tecnogênicos da cidade de Presidente Prudente, estado de São Paulo, buscaram aplicar uma taxonomia que pudesse classificar e explicar a gênese dos compartimentos geomorfológicos oriundos das ações antrópicas. Compreendendo o processo de formação desses depósitos, consegue-se construir modelos explicativos que permitam sua melhor gestão e exploração, pois o manuseio indevido pode resultar em graves desequilíbrios ambientais e eminentes riscos à integridade humana (PELOGGIA *et al.*, 2014). Para esse fim, os autores propuseram uma integração genética (Figura 6).

Segundo Peloggia *et al.* (2014) é necessário não apenas visualizar a paisagem no sentido restrito, ou seja, compreender que os depósitos tecnogênicos não são apenas imagens visuais da materialidade da ocupação humana, mas são também um produto desta e, como tal, apresentam implicações nos recursos geológicos que esses depósitos podem vir a representar.

Para esses autores é preciso identificar, mapear e classificar esses depósitos o quanto antes, pois a apropriação do homem, enquanto agente geológico, está intensificando-se cada vez mais.

Figura 6. Integração genética proposto por Peloggia *et al.* (2014) para classificação do Tecnógeno.



Fonte: Peloggia *et al.* (2014)

Ehl *et al.* (2017), tentando compreender a gênese de depósitos tecnogênicos, perceberam que é possível construir ações controladoras dos contaminantes geogênicos. A partir do estudo de caso da recuperação de um pântano de Long Island, New York, Estados Unidos da América, os autores explicitaram que a própria ação mitigadora (a limpeza dos resqúcios de madeira) pode alterar o relevo, como também a vegetação suprimida pela deambulação pode ocasionar a modificação do fluxo de sedimentos na área.

Com o estudo, Ehl *et al.* (2017), mostrou-se que é possível construir um plano de ação para áreas que tiverem mapeadas as principais interferências antrópicas ao meio e a correlação delas com a gênese dos depósitos tecnogênicos.

Lee *et al.* (2017), estudando a distribuição de radionuclídeos naturais e antropogênicos na Ilha de Porquerolles, no mar Mediterrâneo, e no mar de Mônaco, perceberam que ocorria um aumento da concentração em decorrência da mortandade da espécie *Posidonia oceânica* (angiosperma marinha endêmica do Mar Mediterrâneo), e essa mortandade estava ligada ao aumento de sedimentação.

O aumento da sedimentação era devido ao processo de uso e ocupação do solo, e a alteração da concentração de radionuclídeos começava a modificar a composição dos depósitos sedimentares, dessa forma, evidenciando o surgimento de um depósito tecnogênico. No caso de Younes *et al.* (2017), estudando biomarcadores para identificar as alterações induzidas por um depósito tecnogênico, evidenciaram que, por mais que o as interações não

sejam via de regra com contaminantes, elas ocorrem, e isso necessita ser verificado para se aferir se as implicações serão positivas ou negativas a longo prazo, e, no caso de negativas, ter um plano de mitigação.

A exposição dos trabalhos, seja na linha de avaliação das contaminações do solo induzidas por ações antrópicas ou já considerando a formação de depósitos tecnogênicos, apontam a modificação química do substrato. Quando se visualizam os ciclos econômicos que ocorreram e os que ainda ocorrem na cidade de Marabá, é de se esperar que a intensificação das modificações morfológicas da paisagem acarrete modificações geomorfológicas, conforme ocorreu nas pesquisas apresentadas no decorrer dessa unidade.

Se grande parte dos recursos da indústria da construção civil é oriunda de exploração dos recursos naturais, torna-se fundamental questionar se, do mesmo modo que em diversas partes do mundo, as ações antrópicas produziram modificações e produziram depósitos tecnogênicos, e as pesquisas apontam que, comumente, isso resulta em alteração química do substrato, então, que impacto teriam sobre os componentes produzidos? Isso representa que o solo, enquanto *input*, esteja passível de ter suas características distintas do habitual, e correções granulométricas, por vezes, podem não ser suficientes para abarcar as demandas realmente necessárias para lidar com essas modificações.

No trabalho de Gao *et al.* (2017), as mudanças aquáticas são um reflexo das atividades antropogênicas e acabam por serem registradas nos sedimentos do rio Shima, no sul da China. Esse registro se dá pelo aumento do teor de metais pesados. De acordo com os múltiplos usos da água e da planície de inundação, os autores mostram-se temerosos que a tendência de crescimento da concentração de metais pesados, acompanhados nas últimas duas décadas, intensifique-se.

Do ponto de vista de sedimentos, Aquino (2010; 2015), estudando, primeiramente, em seu mestrado (2010), as areias da praia da Grande Vitória (Espírito Santo - Brasil), verificou a presença natural de radioatividade ligada aos elementos Urânio e Tório. Isso é decorrente das características da rocha matriz que produziu esses sedimentos, contudo essa radioatividade natural apresenta implicações aos componentes construtivos, segundo os estudos do autor.

Na sua tese de doutorado, defendida em 2015, o autor segue estudando a ocorrência natural de radioatividade, desta vez, ligada aos mármorees da região de Espírito Santo. Nesse sentido, não apenas o uso do mármore, mas o aproveitamento dos resíduos da sua exploração, pela indústria da construção civil, pode representar riscos à saúde humana.

Assim, características do contexto geológico do local de exploração do bem mineral, como supracitado no decorrer deste capítulo, precisam ser levadas em consideração. Nesse sentido, Barros, Pecequillo e Aquino (2014) prosseguem apresentando resultados sobre a relevância das características geológicas apriorísticas da jazida, em relação ao uso que for dado, caso esse recurso seja utilizando como insumo de algum componente de construção.

No que tange aos halogênios, que não são o foco desta tese, uma vez que a mesma, como supracitado, atém-se a metais pesados, a tese de Prado (2008), também, aponta para o risco de não ser considerado os intervenientes que podem dar resultados no uso de insumos que contenham, por ventura, a presença de halogênios. O que pode ser correlacionável, para o caso de insumos que contenham, seja por questões naturais ou antrópicas, a presença de metais pesados.

Dessa forma, pode-se fazer uma reflexão, em relação ao ente intermediário, entre a rocha e o sedimento, que é o solo, supondo-se que as mesmas preocupações ligadas às características da rocha e dos sedimentos oriundos dela devem ser atribuídas ao solo.

Apesar de vários trabalhos fazerem correlações com os impactos e com o uso e a ocupação do solo, em todos os casos, o solo é tido como substrato, seja para apropriação pela urbanização ou pela agricultura, não estando diretamente vislumbrada a possibilidade dele enquanto *input*. Nos estudos que consideram o contexto geológico, não estão investigando o solo em si.

Como a região de Marabá passou, desde a década de 70 do século passado, por fluxos migratórios e apresentou uma expansão urbana significativa, conforme aponta o estudo de Nascimento *et al.* (2016), é de se supor que os depósitos que atualmente estão sendo explorados estejam sujeitos a apresentar modificações em consequência das ações antropogênicas. Percebe-se uma lacuna no conhecimento a respeito da problemática em tela, pois, apesar dos estudos apontarem e explicarem a contaminação do solo e o risco de ocupar áreas com o solo contaminado, a investigação sobre a possibilidade de risco à saúde humana em decorrência da utilização desse solo modificado, como *input* em um processo de transformação, ainda é uma incógnita.

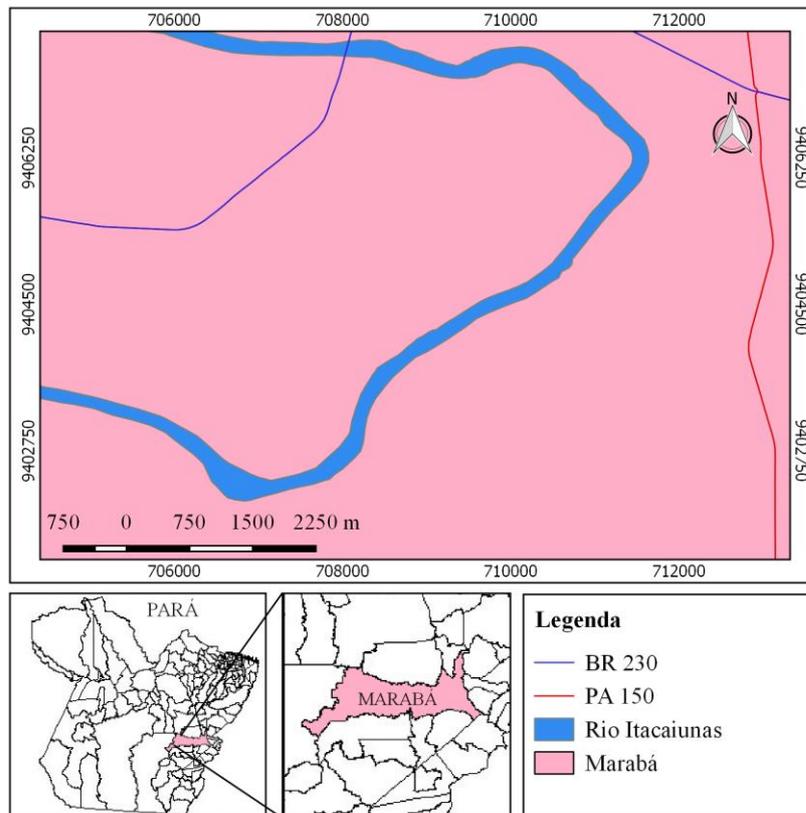
3 PERCURSO METODOLÓGICO

Este capítulo descreve os procedimentos metodológicos adotados para desenvolvimento desta pesquisa. Após explicitar a localização da área de estudo, por questões didáticas, explana-se, de forma sucinta, sobre os métodos de pesquisas escolhidos, para, depois, apresentar como essa pesquisa os utilizou.

O percurso metodológico adotado envolveu a coleta de solo da “margem” (planície de inundação) do Rio Itacaiúnas, Marabá (sudeste do Pará, Brasil), conforme apresentado na figura 7. Por questões de segurança não foram coletadas coordenadas geográficas dos pontos de coleta. Foram coletadas 10 amostras de solo de cada um dos três depósitos tecnogênicos localizados na planície de inundação, também foram coletadas 10 amostras de uma jazida distante de ocupações humanas.

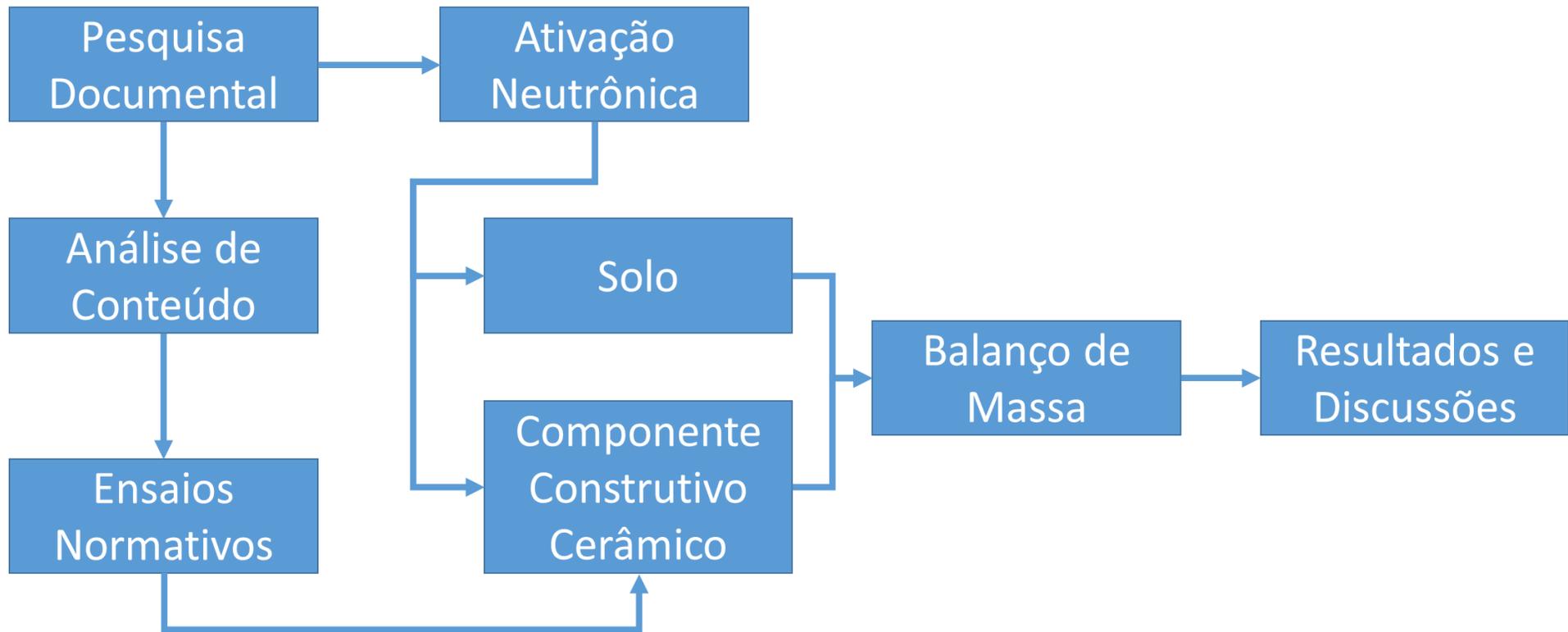
O fluxograma apresentado na figura 8 apresenta as etapas envolvidas no desenvolvimento deste trabalho.

Figura 7. Em azul o Rio Itacaiúnas, o solo foi coletado em suas margens.



Fonte: Cortesia Amanda Katry da Silva Reis para essa Tese (2020).

Figura 8. Fluxograma de atividades da tese



Fonte: Autor (2017)

3.1 PESQUISA DOCUMENTAL E ANÁLISE DE CONTEÚDO

Dentro da concepção apresentada por Le Goff (1996), os documentos são um produto de uma sociedade, por consequência, não são isentos; eles contêm as leituras e os modos de interpretação do vivido, por um dado grupo que esteja no poder, em certo momento e espaço. Assim, as normativas, enquanto documentos, são frutos das tensões e dos acordos, como também interpretações e vivências testadas experimentalmente ou de forma empírica; a partir de um grupo de dados, que foram agrupados em informações, de acordo com a epistemologia aceita.

Desse modo, elas apresentam aquilo que é considerado pelo grupo detentor do poder decisório, dentro das concepções do mundo desse grupo. Por isso, como reflexo do seu tempo, existe a necessidade de que elas passem, periodicamente, por revisões e consultas, para que os avanços científicos e as novas abordagens adotadas possam ser incorporados.

Na pesquisa documental, faz-se necessário definir a escolha do documento, o acesso a ele e a análise que seria dada. O documento normativo adotado por esta pesquisa foi a NBR 15270-1/2005; e, para análise, utilizou-se o método apresentado por Bardin (1977).

De acordo com esse autor, a comunicação apresenta um conjunto de significações que o emissor pretende transmitir ao receptor, e uma maneira de decodificar os discursos simbólicos contidos é através da frequência. Por isso, considerando como hipótese que a normativa não considera o advento do Tecnógeno, foi buscado com que frequência há recomendações para se investigar e aferir outras características do solo além da granulometria.

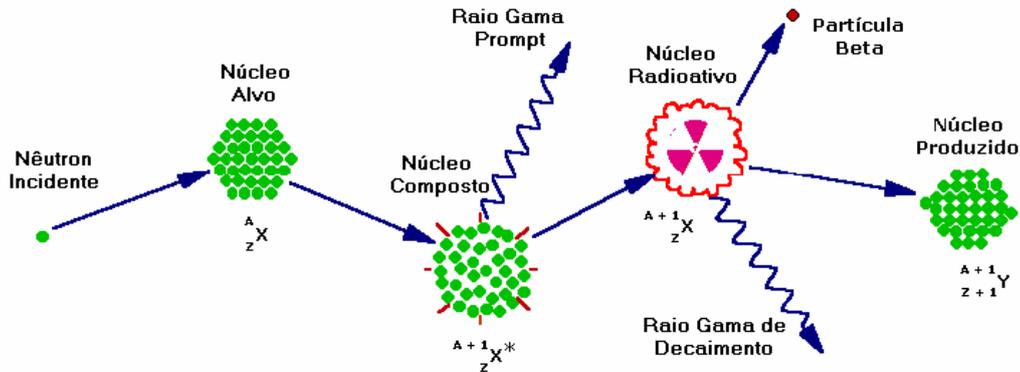
3.2 ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA

Favaro *et al.* (2000) definem que a ativação neutrônica é uma técnica não destrutiva e consiste em bombardear o material-alvo do estudo e aferir a radioatividade induzida. O reconhecimento dos isótopos, segundo os autores, é possível porque cada isótopo possui peculiaridades nas suas emissões, assim, ao adotar um padrão de referência é possível fazer determinações quantitativas da concentração. A figura 9 ilustra a técnica.

O ensaio foi realizado no Laboratório de Ativação Neutrônica, da Unidade de Química Nuclear e Radioquímica, do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), localizado na Universidade Federal de Minas Gerais. O CDTN é uma das Unidades de

Pesquisa da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), sendo assim, uma autarquia que está vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC).

Figura 9. Fluxo de eventos que possibilitam a determinação dos elementos.



Fonte: Glascock (1996); IAEA (1990).

O ensaio de ativação neutrônica é realizado por meio do Reator *Training, Research, Isotopes, General Atomic* - Instituto de Pesquisas Radioativas – Reator 1: TRIGA IPR-R1 (Figura 10).

Figura 10. Reator TRIGA IPR-R1 do CDTN.



Fonte: CDTN (Sem data).

O Padrão utilizado foi monitor de fluxo de nêutrons, liga certificada Al-Au (0,1%), foi adotada a Referência 530 do *Reference Materials and Measurements* (Bélgica). O Controle de qualidade da amostra de referência é certificado pela *Joint Research Centre* (JCR), Bruxelas, Bélgica. De acordo com Favaro *et al.* (2000), pode-se adotar a fórmula a seguir para se obter a concentração:

$$C_a^i = \frac{(A_a^i \cdot m_p \cdot C_p^i) \cdot e^{\lambda(t_a - t_p)}}{A_p^i m_a} \quad (1)$$

C_a^i = Concentração do elemento i na amostra

C_p^i = Concentração do elemento i no padrão

A_a^i = Atividade do elemento i na amostra

A_p^i = Atividade do elemento i no padrão

t = Tempo de decaimento

λ = Constante de decaimento do radioisótopo

m_a = massa das amostra

m_p = massa da amostra padrão

O Laboratório de Ativação Neutrônica da Unidade de Química Nuclear e Radioquímica/CDTN adota o método k_0 conforme exposto nos trabalhos de Menezes e Jaćimović (2008; 2011). Os estudos desses autores conseguem demonstrar que é viável realizar os cálculos de concentração utilizando o editor de planilhas Microsoft Office Excel, simplificando a equação. Em decorrência disso, esta tese seguiu os parâmetros experimentais definidos pelo Laboratório de Ativação Neutrônica, utilizando o editor de planilhas Microsoft Office Excel para análise dos resultados.

As amostras de solo do depósito tecnogênico o tijolo produzido com esse solo foram cominuídas com uso de um almofariz e pistilo cerâmicos, até que fosse possível a granulometria menor que 200 mesh. Foram preparadas 200 g de amostras tanto do solo, como também do tijolo cerâmico, e enviados para o Laboratório de Ativação Neutrônica/CDTN. Para efeitos de comparação, a mesma quantidade em massa de solo que foi submetida à ativação neutrônica foi adotada para a quantidade em massa dos componentes de construção civil cerâmicos (tijolo cerâmico). Foram realizadas 10 amostras, tanto solo, como do tijolo cerâmico produzido com esse solo oriundo de depósito tecnogênico. Como o Coeficiente de variação foi da ordem de, aproximadamente 7%, indicando uma fraca dispersão, os resultados apresentados no Capítulo 4 vão registrar os valores médios.

Os elementos de interesse foram Arsênio (As), Bário (Ba), Bromo (Br), Cério (Ce), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Césio (Cs), Európio (Eu), Ferro (Fe), Háfio (Hf), Potássio (K), Lantânio (La), Sódio (Na), Neodímio (Nd), Rubídio (Rb), Antimônio (Sb), Escândio (Sc),

Selênio (Se), Samário (Sm), Tântalo (Ta), Térbio (Tb), Tório (Th), Urânio (U), Tungstênio (W), Itérbio (Yb), Zinco (Zn) e Zircônio (Zr).

O *Clarke* geoquímico adotado foram os desenvolvidos por Ronov e Yaroshevsky (1972) e Bowen (1979), extraídos dos trabalhos de Fortescue (1985) e Licht (2001), esse último que realizou estudos geoquímicos em solos com vários graus de antropização no estado do Paraná, Brasil. Também, foram adotados os valores de referência de Casarini *et al.* (2001) e as referências de Mineropar (2005). *Clarke* geoquímico, que nessa tese será denominado apenas por *Clarke* versa sobre a concentração média dos elementos na crosta terrestre (LICHT, 2001).

3.3 O SOLO DO DEPÓSITO TECNOGÊNICO E A FABRICAÇÃO DO TIJOLO

O solo foi extraído da planície de inundação do Rio Itacaiúnas, nas mediações do Núcleo Cidade Nova (Marabá-PA). De acordo com Almeida (2001) são coberturas sedimentares atuais, esses depósitos estão justapostos, de acordo com esse autor, a Formação Couto Magalhães (Supergrupo Baixo Araguaia), a qual é caracterizado por litotipos como: filitos, ardósias e xistos, de forma mais restrita calcário e quartizitos. Maiores detalhes sobre o contexto da geologia local podem ser encontrados no trabalho de Souza (2019).

Por questões de segurança, o autor desta tese preferia não coletar as coordenadas dos locais de coleta do solo, uma vez que, percebeu-se tratar de jazidas irregulares. Essa informação pode ser verificada acessando a base de dados do Sistema de Informações Geográficas da Mineração, mantido pela Agência Nacional de Mineração, que apresenta as poligonais de autorização para pesquisa mineral e lavra requisitadas e autorizadas no país. Uma consulta a essa base na porção de margem do Rio Itacaiúnas no perímetro do Núcleo Cidade Nova (Marabá-PA) pode perceberse que as autorizações, em grande parte, não são para lavra de materiais para uso da construção civil.

A caracterização granulométrica do solo foi realizada no Laboratório de Mecânica dos Solos e Rochas, da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (Unifesspa), seguindo os procedimentos previstos na NBR 7181:2016. Optou-se por não realizar as demais caracterizações físicas por fugir ao escopo do trabalho e não apresentarem correlações diretas para estudo sobre possíveis liberações gasosas de elementos químicos considerados nocivos à saúde humana.

As curvas granulométricas das 10 amostras de solos oriundas dos depósitos tecnogênicos, apresentaram um Coeficiente de variação da ordem de 8,29%, sendo assim, com baixa dispersão, podendo ser consideradas, do ponto de vista da granulometria, bastante homogêneas. As 10 amostras do solo oriundo do depósito sedimentar mais distal em relação ao aglomerado subnormal presente nas margens do Rio Itacaiúnas apresentaram curvas de granulométricas cujo Coeficiente de variância foi da ordem de 7,35 %, assim, possuindo fraca dispersão. Realizando a comparação entre as 20 amostras, o Coeficiente de variação foi de apenas 7,12%, assim, podendo ser considerar, apenas do ponto de vista da granulometria, um material homogêneo. De certa forma, a homogeneidade granulométrica era esperada por pertencerem a mesma compartimentação mapeada por Almeida (2001), coberturas sedimentares atuais. Na hipótese levantada por essa tese a diferença desses solos é ligada a contaminação química.

Dessa maneira, é possível definir que as 20 amostras de solo são constituídas de valores médios da ordem de 50,5% de material na granulometria argila, 25,7 de silte e 23,8 na faixa da areia.

Apenas para fins dessa tese foi feita a análise granulométrica, pois as olarias visitadas não realizam esse procedimento.

É válido frisar que o foco dessa tese não é a caracterização física desses solos, por considerar que a distinção entre eles esteja no fato de os depósitos próximos ao aglomerado subnormal poderem ser classificados como depósitos modificados, e assim, apresentarem diferenciações químicas e não físicas, em relação a um depósito sedimentar sem significativa influencia antrópica.

Esses solos são extraídos dessas jazidas irregulares conforme a proximidade com a olaria, e estocados nas proximidades de onde se dá o processo de transformação dos componentes de construção cerâmicos produzidos. Ao local que é estocado o solo é denominado “barreira”. O processo de transformação do tijolo cerâmico vazado inicia pela retirada de argila da “barreira” (pilha de argila) de estoque da empresa. O material é conduzido a um “caixão alimentador”. Posteriormente, é conduzido a um destorrador, após a fragmentação, é conduzido por meio de uma esteira ao laminador, no qual é triturado e lançado no misturador, equipamento que faz a adição de água ao material.

Após essa etapa é conduzido à maromba, equipamento que permite a prensagem do material para que ele seja laçando na forma de seis furos. Após ganhar essa forma, o material é cortado, do tamanho previsto. O tijolo cerâmico nessa etapa é transportado para secagem em

um galpão coberto, podendo esta durar de 3 a 4 dias no período de verão seco e até 7 dias no período de verão úmido². Depois da secagem natural é encaminhado aos fornos, que utilizam pó de serragem para a queima. Esse processo de queima dura em média 5 dias, sendo que os fornos desta cerâmica começam a 80°C e podem chegar até 900°C.

Além dos 5 dias de queima, até ser retirado do forno, o tijolo passa de 4 a 5 dias em um processo de esfriamento, que pode ser com auxílio de equipamentos ou sem. Feito isso, ele é retirado e armazenado, já estando pronto para ser vendido (Figura 11).

Registra-se que os tijolos cerâmicos, em nenhuma das olarias visitadas, passaram pelos ensaios previstos na NBR 15270-1/2005. A responsabilidade de realização desses ensaios é repassada para os clientes.

Figura 11. Tijolos cerâmicos após o resfriamento.



Fonte: Autor (2018).

Assim, após a produção dos tijolos foram coletadas 20 amostras dos tijolos para serem ensaiadas, sendo coletadas de duas empresas da cidade, uma delas produziu os tijolos com o solo oriundo de depósito não tecnogênico. As amostras foram submetidas ao ensaio previsto na NBR 15270-1/2005 de resistência à compressão.

² Verão seco e verão úmido, referem-se, respectivamente, ao período do verão amazônico que é com menor intensidade de chuvas e o período com maior concentração de precipitações pluviométricas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ANÁLISE DA NORMA 15575/2005

A NBR 15575/2005 de componentes cerâmicos tem por subtítulo “Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e Requisitos”. Ela apresenta oito itens discriminados em suas 11 páginas.

O item 1 define o objetivo normativo e o item 2 cita as normas de referência. Na sequência, o item 3 apresenta as 26 definições pertinentes, nenhuma das quais atrela qualquer característica química necessária para o componente construtivo ou seu insumo. O item 4 apresenta os Requisitos Gerais, dividindo-os em fabricação, identificação, unidade de comercialização, características visuais, características geométricas, determinação das características geométricas, físicas e mecânicas. O item 5 apresenta os requisitos específicos, que são as tolerâncias para os itens discriminados no item 4. Ambos não fazem menção a qualquer avaliação de característica química do material, ou por algum aspecto químico do material, de forma direta. O item 6 frisa sobre a existência de situações especiais, recomendando consultar o anexo da NBR 15270-3/2005, contudo, nesse anexo, apenas é pormenorizado outras técnicas investigativas de aspectos geométricos e mecânicos. O item 7 apresenta regras para inspeção, e o item 8 a disposição das unidades para aceitação ou rejeição do material.

Ao centrar-se na resistência à compressão e no índice de absorção d’água, a norma define que o componente de construção deva apresentar uma resistência à compressão igual ou superior a 1,5 MPa; e que o índice de absorção não deva ser superior a 22%, nem tão pouco inferior a 8% (ABNT, 2005).

Dessa forma, nos aspectos e critérios elencados, nenhuma distinção direta das características químicas do componente é investigada, podendo, no máximo, se ela causar alteração nas propriedades mecânicas e/ou físicas, perceber-se-ia indiretamente, e, no caso de não atendimento, o produto seria descartado.

O que representa que o solo com contaminantes, que possam volatilizar durante o processo de fabricação, caso não interfiram na qualidade de conformação do componente construtivo, poderiam ser utilizados. Entretanto, como supracitado pela revisão de literatura apresentada nesta tese, o contato com solo contaminado por metais pesados pode ser nocivo à saúde humana.

4.2 ENSAIO NORMATIVO DO TIJOLO CERÂMICO

A tabela 1 apresenta os resultados do ensaio de compressão de tijolos cerâmicos vazados produzidos com solo oriundo de um depósito não tecnogênico. Foram submetidas ao ensaio 10 tijolos. O Coeficiente de variação é da ordem de 23,06%, o que denota uma moderada dispersão. Esse fato pode estar ligado ao baixo controle tecnológico da empresa, e a completa ausência de preocupação com a realização de um processo que garanta a qualidade de conformação do produto.

Tabela 1 - Resultados da Resistência à compressão de tijolos produzidos com solo não tecnogênico

Nome da amostra	Resistência à compressão	Parâmetro Normativo
Tijolo – 01A	1,4	≥ 1,5 MPa
Tijolo – 02A	1,5	
Tijolo – 03A	2,0	
Tijolo – 04A	2,1	
Tijolo – 05A	2,0	
Tijolo – 06A	2,3	
Tijolo – 07A	1,4	
Tijolo – 08A	1,2	
Tijolo – 09A	1,3	
Tijolo – 10A	2,0	

Fonte: Autor (2018)

As amostras Tijolo-01A, Tijolo-07A, Tijolo-08A e Tijolo 09A não adentem ao mínimo solicitado pela normatiza NBR 15270-01/2005.

A tabela 2 apresenta os resultados de resistência à compressão dos 10 tijolos cerâmicos vazados produzidos com solo oriundo de um depósito tecnogênico. O Coeficiente de variação foi da ordem de 8,34%, representando uma fraca dispersão dos resultados e todos os tijolos atendem ao valor estipulado para norma de resistência à compressão, entretanto, esse fator não pode ser diretamente ligado ao fato do tipo de solo, pois o controle tecnológico é limitado, sendo o possivelmente o principal fator para diferença dos dados. Certamente, nessa produção, como a presença do pesquisador, as atividades foram realizadas com mais

acurácia (quando o autor da tese chegou na empresa, o operário comunicou que tinha conversado com o operário da empresa anteriormente visitada).

Tabela 2 - Resultados da resistência à compressão de tijolos produzidos com solo tecnogênico

Nome da amostra	Resistência à compressão	Parâmetro Normativo
Tijolo – 01B	2,2	≥ 1,5 MPa
Tijolo – 02B	1,9	
Tijolo – 03B	2,2	
Tijolo – 04B	2,0	
Tijolo – 05B	2,1	
Tijolo – 06B	2,0	
Tijolo – 07B	1,8	
Tijolo – 08B	1,9	
Tijolo – 09B	1,7	
Tijolo – 10B	2,1	

Fonte: Autor (2018)

É válido frisar que apesar da discrepância de dados não ter evidências diretas de correlação com aspectos químicos, no entanto, as amostras elencadas na tabela 2 foram produzidas com solos oriundos de depósitos que foram identificados como tecnogênicos, e percebe-se um sutil aumento na resistência a compressão.

Conforme a classificação de Oliveira (1995), em que os depósitos tecnogênicos podem ser do tipo “modificados”, ou seja, elementos e compostos químicos presentes devido interferência antrópica, e no caso do depósito que forneceu o solo, ser conhecida a presença de Cromo, Manganês e Zinco (que estão acima dos valores recomendáveis, de acordo com o relatório do Centro de Perícias Científicas Renato Chaves), pode ter uma influência nessa melhora de resistência.

Metais apresentam uma propriedade de melhorarem a resistência mecânica, por melhorarem a microestrutura de componentes de construção, conforme Andrade (2009). Dessa forma é uma possibilidade a considerar. Na pesquisa desse autor, os metais podem ser relacionados a favorecimento de uma microestrutura mais fechada, melhorando a integridade, e assim, a resistência mecânica, com possíveis implicações sobre o módulo de elasticidade do material.

4.3 ATIVAÇÃO NEUTRÔNICA E BALANÇO DE MASSA

A tabela 3 elenca os resultados da ativação neutrônica realizada no solo oriundo de depósito tecnogênico, como também, do tijolo produzido com esse solo. Levando-se em consideração a pequena variação percentual dos resultados, optou-se por agrupá-los pelo valor médio (conforme explicitado no item 3.2, o Coeficiente de variação, de aproximadamente 7%, indica fraca dispersão dos resultados).

Tabela 3 - Resultados da Ativação Neutrônica

Elemento	Solo (mg/kg)	Tijolo (mg/kg)	Clark da literatura
As	10	12	1,8
Ba	168	57	390 mg/kg
Br	4,5	0,64	2,5 mg/Kg
Ce	41	12	66,4 mg/Kg
Co	5,8	2,8	29,0 mg/Kg
Cr	57	48	122,0 mg/Kg
Cs	2	0,9	2,6 mg/Kg
Eu	0,71	0,28	2,14 mg/Kg
Fe	27643	25357	62200,0 mg/Kg
Hf	7,5	4,1	2,8 mg/Kg
K	7068	2890	18400,0 mg/Kg
La	21	8,1	34,6 mg/Kg
Na	1514	126	22700,0 mg/Kg
Nd	18	0	39,6 mg/kg
Rb	36	15	78,0 mg/Kg
Sb	0,36	0,31	0,2 mg/Kg
Sc	7,8	6,5	25,0 mg/Kg
Se	0	0	0,05 mg/Kg
Sm	3,4	0,94	7,02 mg/Kg
Ta	1,1	0,42	1,7 mg/Kg
Tb	0,46	0,13	1,18 mg/Kg
Th	8,1	4,7	8,1 mg/Kg
U	2,3	1,09	2,3 mg/Kg
W	1,5	0,7	136,0 mg/Kg
Yb	2	0,81	3,1 mg/Kg
Zn	48	39	76,0 mg/Kg
Zr	305	176	162,0 mg/Kg

Fonte: Autor (2019) e valores de Clark Ronov e Yaroshevsky (1972) e Bowen (1979) apud Fortescue (1985) e Licht (2001).

Conforme pode ser observado na tabela 3, primeiramente, o elemento Selênio apresentou quantidades inferiores ao limite de detecção do método empregado, por essa razão apresentando o valor 0 (zero) na tabela, da mesma forma, o elemento Neodímio após a produção a queima do solo no processo de transformação, apresentou quantidades inferiores aos limites de detecção.

Considerando o Neodímio, é um elemento terra rara comum na composição do mineral monazita, deveras comum em argilas de depósitos aluvionares. Conforme Wei e Zhou (2000) a exposição em demasia a esse elemento pode causar irritação a mucosas, alvéolos e fígado.

O *Clarke* do Neodímio é da ordem de 39,6 mg/kg, o que significa que o valor encontrado não chega a ser uma anomalia, entretanto, como no final do processo suas quantidades estão baixas, é provável que ele esteja sendo liberado para o ambiente; devendo, então, ser observado se isso implicaria em efeitos negativos na continuidade da exposição a essa quantidade ao longo do tempo.

O Bário apresentou uma redução da ordem de 66,07% ao fim do processo de transformação. O Bário é um elemento químico altamente reativo, devido a isso, encontra-se associado na natureza, sendo considerado tóxico. Mesmo sendo encontrado abaixo do *Clarke* (390 mg/kg), essa redução superior a metade de sua concentração demanda maiores investigações, porque, mesmo não sendo solúvel em água, a exposição prolongada pode ser um fator preocupante, afinal, como apresenta o caso estudado por Tubino e Simoni (2007), existem complicações para exposição ao Bário, sendo que Casarini *et al.* (2001) consideram o valor encontrado no solo superior ao valor de alerta (150 mg/Kg).

O Bromo indicou uma redução de 85, 78% na concentração, um valor extremamente alto, sendo que o *Clarke* do Bromo é da ordem de 2,5 mg/Kg, assim existe uma quantidade anômala no solo. Essa quantidade pode ser oriunda de contaminação antrópica (MACÊDO; MORRIL, 2008) ou mesmo oriundo de um regolito formado por um arenito arcossiano. Todavia a exposição ao bário é reconhecidamente não aconselhável devido à sua toxicidade.

O Cério revelou uma redução de 70,73%. Apesar de a concentração no solo estar abaixo do *Clarke*, como enfatiza Mineropar (2005), ele deve ser considerado altamente tóxico, dessa maneira, essa redução na concentração após a queima demanda atenção.

O Cobalto teve uma redução de 51,79%, apresentou-se no solo abaixo do *Clarke*, como também menor que o valor de alerta (25 mg/Kg) indicado por Casarini *et al.* (2001). De acordo com Mineropar (2005), apesar de teores baixos serem benéficos à saúde humana, em

valores elevados, o Cobalto pode ser carcinogênico. Seria recomendável avaliar os efeitos a longo prazo dessa exposição.

O Cromo assinalou uma redução de apenas 15,79%, estando abaixo do *Clarke*, como também tanto o solo (57mg/Kg) e o componente de construção civil cerâmico (48 mg/Kg) não apresentam valores superiores ao de alerta (75mg/Kg) indicados por Casarini *et al.* (2001). Mineropar (2005) indica que, em casos que a intoxicação por esse elemento possa causar irritações no trato respiratório e problemas gástricos, indicando que uma pessoa de 70 kg apresenta em média 14 mg de Cromo, valor superior ao liberado (9 mg/Kg em média) no processo de transformação do componente de construção civil cerâmico.

O Césio reduziu 55% ao final do processo de transformação, o valor encontrado no solo foi de 2 mg/Kg, sendo que o *Clarke* é da ordem de 2,6 mg/Kg, quando natural, o Césio não é radioativo e é comum em sedimentos argilosos, entretanto, como podem substituir o potássio no corpo, demandam cautela (MINEROPAR, 2005).

O Európio teve assinalou uma redução de 60,56%, estando abaixo do *Clarke* (2, 14 mg/Kg) e em quantidade comum encontrada em monazita, sendo sua toxicidade desconhecida (MINEROPAR, 2005).

O Ferro apresentou uma redução de 8,27%, o que era esperando devido ao processo de transformação empregado, o que é uma quantidade dentro dos limites saudáveis (MINEROPAR, 2005). Da mesma maneira, o Potássio, apesar da redução de 59,11% ao final do processo de transformação, mas estando dentro de padrões aceitáveis de acordo com o órgão.

O Háfnio foi encontrado no solo com uma concentração de 7,5 mg/Kg, sendo que o *Clarke* é da ordem de 2,8 mg/Kg, dessa maneira, estando 62, 67% acima da concentração característica, sendo que, ao fim do processo de transformação, ele apresentou uma redução de 45, 33%. A toxicidade desse elemento é desconhecida, e, em geral, ele está presente no zircão (MINEROPAR, 2005).

O Lantânio foi encontrado no solo dentro das concentrações esperada para um material oriundo de uma rocha matriz arenítica (MINEROPAR, 2005). Esse órgão explicita que o Lantânio deve ser observado com cautela, pois, além de não possuir uma função biológica conhecida, pode estar correlacionado a doenças hepáticas. A redução do Lantânio foi da ordem de 61,43% após a queima.

O Sódio foi encontrando no solo (1514 mg/Kg), um valor bastante abaixo do *Clarke* (22700 mg/Kg), isso pode-se dever às características da geologia local. Após a queima,

ocorreu uma redução de 91, 68%. Contudo ele não é considerado um elemento tóxico, sendo que a quantidade média dele presente em uma pessoa de 70 kg é da ordem de 100 g, e o processo, teoricamente, está liberando um pouco mais de 1 ppm.

Ao fim do processo de transformação, o Rubídio teve uma redução de 58,33%. Apresentando-se com valores abaixo do *Clarke* (78 mg/Kg), segundo Mineropar (2005), deve-se apenas ter cautela com esse elemento em razão da possibilidade de ele substituir o potássio, acarretando em espasmos e irritabilidade.

O Antimônio assinalou uma redução de 13,89%, entretanto o valor de 10 mg/Kg presente no solo é considerado preocupante por Casarini *et al.* (2001), que são estipula um valor de alerta da ordem de 2,0 mg/Kg.

O Escândio teve uma redução da ordem de 16,67%, mesmo com valores encontrados inferiores ao *Clarke* (solo apresenta 7,8 mg/Kg e o *Clarke* é de 25,0 mg/Kg). Mineropar (2005) alerta que ele é um elemento que deve ser considerado tóxico e carcinogênico, sendo que a presença média em uma pessoa de 70 kg é de 0,2 mg.

O Samário, ao fim do processo de transformação, apresentou uma redução de 72,35%, mesmo com um valor menor que o *Clarke* (que é de 7,02 mg/Kg), em conformidade com Mineropar (2005), pela sua toxicidade não ter sido amplamente estudada, e o contato com o elemento causar irritação dérmica e ocular, requer cautela.

O Tântalo teve uma redução de 61,81%, sendo encontrado no solo com 1,1 mg/Kg e o *Clarke* ser da ordem de 1,7 mg/Kg. Não se conhece a função biológica do Tântalo, contudo doenças carcinogênicas podem estar associadas à exposição em demasia (MINEROPAR, 2005; MIZUTANI, *et al.*, 2016).

O Térbio apresentou diminuição de concentração de 71,74%, com presença no solo inferior ao valor de referência para do *Clark*. É um lantanídeo cuja função biológica é desconhecida, inclusive carecendo de maiores estudos sobre sua toxicidade.

A quantidade de Tório identificada no solo foi baixa (0,46 mg/Kg), sendo que o *Clarke* é da ordem de 8,1 mg/Kg, contudo, no processo de transformação, a redução foi de 41,97% e ele é um elemento radioativo que, mesmo em baixas concentrações, pode ocasionar dermatites (MINEROPAR, 2005). Da mesma maneira, o Urânio é um elemento considerado radioativo, e sua presença no solo foi muito próxima ao *Clarke*, do referencial adotado nesta tese (2,3 mg/Kg); essa presença pode estar relacionada à geologia local, dada a proximidade com o Cinturão Araguaia (que apresenta litotipos com rochas que possuem concentrações

consideráveis desse elemento). Com uma redução de 52,61%, sendo um elemento reconhecidamente carcinogênico, demanda atenção.

O Tungstênio apontou uma redução de 53,33%, sendo que o solo apresentou uma concentração de 1,5 mg/Kg, enquanto que o *Clarke* é de 1,2 mg/Kg. É válido recordar que é um elemento presente na curtição do couro. Apesar de a toxicidade ser considerada baixa, seus compostos devem ser considerados altamente tóxicos, como, ainda, a quantidade de 0,02 mg é o comumente encontrado em uma pessoa de 70 kg (MINEROPAR, 2005), dessa maneira, o resultado demanda atenção.

O Itérbio apresentou diminuição de concentração de 59,5%, como alguns de seus compostos podem desde contribuir para dermatites como, em outro extremo, serem teratogênicos, deve-se demandar preocupações (MINEROPAR, 2005).

O Zinco, por sua vez, teve uma redução de 18,75% com os valores restando dentro dos padrões aceitáveis (CASARINI *et al.*, 2001).

O Zircônio teve uma redução de 42, 29%, sendo que o seu *Clarke* é da ordem de 162 mg/Kg, no solo, foi identificada a concentração de 305 mg/Kg. Considerando a fonte dentrítica do solo, é possível que essa concentração se deva à presença do mineral zircão. Mineropar (2005) apresenta que uma pessoa de 70 kg possui em média 1 mg de Zircônio, assim, essa quantidade liberada requer atenção, pois, como aponta o estudo de Daldon e Arruda (2007), esse elemento pode estar relacionado ao desenvolvimento de granulomas.

O Arsênio apresentou um aumento de sua concentração da ordem de 20%. Isso pode dever-se à associação dele com possíveis compostos fosfáticos presentes.

5 CONSIDERAÇÕES

Conforme foi apresentado nos resultados, a NBR 15270-1/2005 não apresenta requisitos de avaliação capazes de mensurar a presença de elementos químicos, potencialmente perigosos, que possam estar presentes na matéria-prima.

Mesmo que essa matéria-prima não comprometa a qualidade de conformação dos componentes construtivos é crucial considerar que, no processo de transformação empregado, tanto para tijolos e telhas, a manufatura e, por vezes, o processo artesanal, ainda, são muito presentes na região amazônica.

De acordo com os resultados da Ativação Neutrônica, percebeu-se que o solo apresenta elementos que coadunam com o Laudo Pericial do Instituto de Perícias Científicas Renato Chaves, como é o caso da presença do Tungstênio acima dos valores do *Clarke*, sendo ele um elemento comum de encontrar no processo produtivo de curtição de couro.

Dos elementos investigados, um restou indetectável (Selênio) tanto antes como depois da queima, resultando em 26 elementos, dos quais 25 apresentaram redução de concentração. Desses, apenas, 7 apresentaram reduções menores que 50%. Sendo válido lembrar que, no caso do Háfnio, com mais de 60% acima da concentração característica do *Clarke*, sua interação com homem ainda é desconhecida.

Os elementos Neodímio, Cério, Bário e Bromo apresentam indícios de estarem relacionados ao adoecimento e assinalam uma diminuição significativa na concentração após a queima. Por sua vez, o Tório e o Urânio, que foram detectados por questões da geologia local, bem como o Zircônio, demandam atenção maior – o Tório e o Urânio por serem radioativos; e o Zircônio em razão da alta concentração presente no solo, o que pode potencializar o risco de exposição e ser fator para adoecimento.

Com esta pesquisa, apenas, deu-se início a uma investigação sobre o processo produtivo, por conseguinte, demandando, devido ao caráter eminentemente interdisciplinar do problema, complementações do estudo na área da geologia médica, da engenharia de segurança no trabalho e geoquímicos.

Recomenda-se para continuidade do estudo o enfoque na caracterização do produto, com realização de ensaios como Difração de Raio-X, Microscopia Eletrônica de Varredura, Fluorescência de Raio-X, como também, a adoção de métodos termoanalíticos. Outra vertente de estudo sugerida é o mapeamento e identificação dos fluxos de contaminação, inclusive com coleta de amostras sanguíneas dos trabalhadores e população de entorno.

REFERÊNCIAS

ABELÉM, Auriléia Gomes. **Urbanização e remoção: por que e para que?** Belém: Centro de Filosofia e Ciências Humanas, NAEA/UFGA, 1989.

ALEKSEENKO, V.A.; PASHKEVICH, M.A.; ALEKSEENKO, A.V. Metallisation and environmental management of mining site soils, **Journal of Geochemical Exploration**, v. 174, p. 121-127, Mar.2017. ISSN 0375-6742, <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.06.010>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674216301388>>. Acesso em: 12 maio 2017.

ALHARBI, Talal; EL-SOROGY, Abdelbaset. Assessment of metal contamination in coastal sediments of Al-Khobar area, Arabian Gulf, Saudi Arabia, **Journal of African Earth Sciences**, v. 129, p. 458-468, May 2017. ISSN 1464-343X. <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.02.007>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X17300511>>. Acesso em: 14 maio 2017.

AMJADIAN, K.; SACCHI, E.; RASTEGARI MEHR, M. Heavy metals (HMs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in soils of different land uses in Erbil metropolis, Kurdistan Region, **Iraq Environ Monit**, v. 188, p. 605, 2016. doi:10.1007/s10661-016-5623-6. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10661-016-5623-6>>. Acesso em: 17 maio 2017.

ANDRADE, Fabiano. **Comparativo entre Tijolo MgO-C e Dolomítico para aplicação no revestimento refratário da panela para fabricação de ações de construção mecânica**. 2009. Monografia. (Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

AQUINO, R. R. **Avaliação da radioatividade natural em mármore e granitos do estado do Espírito Santo**. 2015. Tese de Doutorado - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2015.

AQUINO, R. R. **Avaliação da radioatividade natural em areias das Praias da Grande Vitória, Espírito Santo**. 2010. Dissertação de Mestrado - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. Norma Brasileira Regulamentadora - **NBR 15270-1**: Componentes cerâmicos. Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação - Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. Norma Brasileira Regulamentadora - **NBR 15.575-4**: Edificações Habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os Sistemas de Vedações Verticais internas e externas. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT. Norma Brasileira Regulamentadora - **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

BARDIN, L **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BARROS, L. F.; PECEQUILO, B. R. S.; AQUINO, R. R. Gamma radiation measurements in select sand samples from Camburi Beach – Vitória, Espírito Santo, Brazil. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 95, p. 339-341, 2014.

BECKER, B. K. **A Urbe Amazônica**: a floresta e a cidade. Rio de Janeiro: Garamond, 2013.

BENHADDYA; M. L. *et al.* Human Health Risks Associated with Metals from Urban Soil and Road Dust in an Oilfield Area of Southeastern Algeria. **Arch Environ Contam Toxicol**, v. 70, p. 556, 2016. doi:10.1007/s00244-015-0244-6. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00244-015-0244-6>>. Acesso em: 17 maio 2017.

BJØRKLUND, Geir *et al.* Recent aspects of uranium toxicology in medical geology, **Environmental Research**, v. 156, p. 526-533, July 2017. ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.04.010>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935117305005>>. Acesso em: 14 de maio de 2017.

BRITO, Gisele Silveira de. Environmental changes caused by the presence of tecnogenic deposits in the Anicuns River basin in Goiânia, Brazil, **Quaternary International**, v. 279, p. 451, 2012. ISSN 1040-6182, <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2012.08.1486>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1040618212025268>>. Acesso em: 15 maio 2017.

BROMSTAD, Mackenzie J.; WRYE, Lori A.; JAMIESON, Heather E. The characterization, mobility, and persistence of roaster-derived arsenic in soils at Giant Mine, NWT, **Applied Geochemistry**, Available online 26 April 2017, ISSN 0883-2927, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2017.04.004>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292716302165>>. Acesso em: 12 maio 2017.

BROWN, Lawrence S. **Química geral aplicada à engenharia**. Tradução Maria Lúcia Godinho de Oliveira. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

BUNDSCHUH, Jochen *et al.* Medical geology in the framework of the sustainable development goals, **Science of The Total Environment**, vv. 581–582, n. 1, p. 87-104, March 2017. ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.208>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716326766>>. Acesso em: 14 maio 2017.

CAO, Suzhen *et al.* Health risks from the exposure of children to As, Se, Pb and other heavy metals near the largest coking plant in China, **Science of The Total Environment**, v. 472, p. 1001-1009, 15 February 2014. ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.124>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713014289>>. Acesso em: 14 maio 2017.

CASARINI, D. C. P. *et al.* **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo.** São Paulo: CETESB, 2001.

CARSON, Rachel. **Primavera silenciosa.** São Paulo: Melhoramentos, 1969.

CHMIELEWSKA, Izabela; CHAŁUPNIK, Stanisław; BONCZYK, Michal Natural radioactivity in drinking underground waters in Upper Silesia and solid wastes produced during treatment, **Applied Radiation and Isotopes**, v. 93, p. 96-100, Nov. 2014. ISSN 0969-8043, <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2014.01.017>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096980431400030X>>. Acesso em: 12 maio 2017.

CUNHA, B.C.C. **Impactos socioambientais decorrentes da ocupação da planície do ribeirão Anicus:** o caso da Vila Roriz, Goiânia-GO. 2000. 272f. Dissertação de Mestrado – UFG, Goiânia, 2000.

DALDON, Patrícia Érica Christofolletti; ARRUDA, Lúcia Helena Fávaro. Granulomas não infecciosos: sarcoidose. **A. Bras. Dermatol.** Rio de Janeiro, v. 82, n. 6, p. 559-571, dez. 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0365-05962007000600010&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 2 set. 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/S0365-05962007000600010>.

DE LIMA RODRIGUES, Aline Sueli. Efeitos da exposição ao arsênio na saúde humana. **Revista Saúde.com**, v. 4, n. 2, p. 148-159, out. 2008. ISSN 1809-0761. Disponível em: <<http://periodicos2.uesb.br/index.php/rsc/article/view/133>>. Acesso em: 10 ag. 2018.

DURKEE, Jenna; BARTREM, Casey; MÖLLER, Gregory. Legacy lead arsenate soil contamination at childcare centers in the Yakima Valley, Central Washington, USA, **Chemosphere**, v. 168, p. 1126-1135, February 2017. ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.10.094>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653516314862>>. Acesso em: 14 maio 2017.

EDENBORN, Harry M.; HOWARD, Bret H.; SAMS, James I.; VESPER, Dorothy J.; EDENBORN, Sherie L. Passive detection of Pb in water using rock phosphate agarose beads, **Journal of Hazardous Materials**. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389417302856>>. Acesso em: 12 maio 2017.

EHL, Kaitlin M.; RACITI, Steve M.; WILLIAMS, Jason D. Recovery of salt marsh vegetation after removal of storm-deposited anthropogenic debris: Lessons from volunteer clean-up efforts in Long Beach, NY, **Marine Pollution Bulletin**, v. 117, Issues 1–2, 15, p. 436-447, April 2017. ISSN 0025-326X, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2017.01.086>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X17301157>>. Acesso em: 17 maio 2017.

FÃ, Jiongming *et al.* Study on the construction and optimization of a resource-based industrial ecosystem, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 119, April 2017, p. 97-108, ISSN 0921-3449, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.016>. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344916301264>>. Acesso em: 12 de maio de 2017.

FAVARO, Déborah I. T. et al . Determinação de elementos minerais e traços por ativação neutrônica, em refeições servidas no restaurante da Faculdade de Saúde Pública/USP. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** Campinas , v. 20, n. 2, p. 176-182, Aug. 2000. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612000000200009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 1º set. 2019.

FERRO-VÁZQUEZ, C. *et al.* When is a terrace not a terrace? The importance of understanding landscape evolution in studies of terraced agriculture, **Journal of Environmental Management**, Available online 28 January 2017, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.036>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717300543>>. Acesso em: 12 maio de 2017.

FORTESCUE, J.A.C. **A standardized approach to the study of the geochemistry of humus. Williams property, Hemlo. Tunder Bay District.** Ontario: Ontario Geol. Survey, 1985. (Map 80 754, Geochemical series).

FRANÇA JUNIOR, Pedro; SOUZA, Marta Luzia. Tecnógeno em ambientes fluviais: noroeste do Paraná, Brasil Technogene inland environments: northwestern Paraná, Brazil, **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 05, n. 2, p. 45-52, 2014. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/34777/23347>>. Acesso em: 12 maio 2017.

GAO, Lei *et al.* Aquatic environmental changes and anthropogenic activities reflected by the sedimentary records of the Shima River, Southern China, **Environmental Pollution**, v. 224, p. 70-81, May 2017. ISSN 0269-7491, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.056>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116315913>>. Acesso em: 10 maio 2017.

GARVIN, D. A. **Gerenciando a Qualidade:** a visão estratégica e competitiva. Tradução de João Ferreira Bezerra de Souza. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1992.

GAITHER, Norman. **Administração da produção e operações.** Tradução José Carlos Barbosa dos Santos. 8. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.

GIACCIO, L. *et al.* Does heavy metals pollution affects semen quality in men? A case of study in the metropolitan area of Naples (Italy), **Journal of Geochemical Exploration**, v. 112, p. 218-225, Jan. 2012. ISSN 0375-6742, <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2011.08.009>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674211001750>>. Acesso em: 14 de maio de 2017.

GUAGLIARDI, I.; CICHHELLA, D.; DE ROSA, R. A Geostatistical Approach to Assess Concentration and Spatial Distribution of Heavy Metals in Urban Soils. **Water Air Soil Pollut**, v. 223, p. 5983, 2012. doi:10.1007/s11270-012-1333-z. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-012-1333-z>>. Acesso em: 13 maio 2017.

HUYSEGOMS, Lies; CAPPUYNS, Valérie. Critical review of decision support tools for sustainability assessment of site remediation options, **Journal of Environmental Management**, v. 196, p. 278-296, 1 Jul. 2017. ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.002>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717302001>>. Acesso em: 12 maio 2017.

JACOBS, Jane. **The Economy of Cities**. New York-United States: Vintage, 1969.

JOIMEL, Sophie *et al.* Urban and industrial land uses have a higher soil biological quality than expected from physicochemical quality, **Science of The Total Environment**, vv. 584–585, p. 614-62115, Apr. 2017. ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.086>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717300967>>. Acesso em: 13 maio 2017.

LEE, Sang-Han *et al.* Distribution of natural and anthropogenic radionuclides in northwest Mediterranean coastal sediments, **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 172, p. 145-159, Jun. 2017. ISSN 0265-931X, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2017.03.018>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X1730231X>>. Acesso em: 11 maio 2017.

LE GOFF, J. **História e memória**. Tradução Bernardo Leitão [et. all.]. 4. ed. Campinas, São Paulo: Editora da UNICAMP, 1996 (Coleção Repertórios).

LI, Shehong; XIAO, Tangfu; ZHENG, Baoshan. Medical geology of arsenic, selenium and thallium in China, **Science of The Total Environment**, vv. 421–422, p. 31-40, 1 Apr. 2012 ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.02.040>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969711002130>>. Acesso em: 11 maio 2017.

LI, Yeqing *et al.* Disposal of historically contaminated soil in the cement industry and the evaluation of environmental performance, **Chemosphere**, v. 134, p. 279-285, Sep. 2015. ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.048>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653515003872>>. Acesso em: 14 maio 2017:

LI, Xiangdong; POON, Chi-sun; LIU, Pui. Sum Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong, **Applied Geochemistry**, v. 16, Issues 11–12, p. 1361-1368, Aug./Sep. 2001 ISSN 0883-2927, [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(01\)00045-2](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(01)00045-2). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292701000452>>. Acesso em: 17 maio 2017.

LICHT, Otavio Augusto Boni. **Geoquímica multielementar na gestão ambiental: identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no Estado do Paraná, Brasil**. 2001. 236 p. Tese (Doutorado em Geologia Ambiental) - Faculdade de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

KEMPER, Kathi J.; LAL, Rattan. Pay dirt! human health depends on soil health, **Complementary Therapies in Medicine**, Available online 24 April 2017, ISSN 0965-2299, <https://doi.org/10.1016/j.ctim.2017.04.005>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965229917302704>>. Acesso em: 11 maio 2017:

KITCHENHAM, B. **Procedures For Performing Systematic Reviews**. Technical Report Technical Report T R/S E – 0401. Keele: University and NICTA, 2004.

KO, Ilwon *et al.* Arsenic contamination of soils and sediments from tailings in the vicinity of Myungbong Au mine, Korea. **Chemical Speciation & Bioavailability**, v. 15, n. 3, p. 67-74, 2003. DOI: 10.3184/095422903782775217. Disponível em: www.tandfonline.com/doi/10.3184/095422903782775217>. Acesso em: 10 ag. 2018.

MACÊDO, L.S.; MORRIL, W.B.B. Toxicidade dos ametais no solo e nas plantas: uma revisão de literatura. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v.2, p.39-42, 2008.

MEHR, M.R.; KESHAVARZI, B.; MOORE, F.; SHARIFI, R.; LAHIJANZADEH, A.; KERMANI, M. Distribution, source identification and health risk assessment of soil heavy metals in urban areas of Isfahan Province Iran. **J. Afr. Earth Sci.**, 132 (2017), pp. 16-26.

MEHTA, Povidar Kumar; MONTEIRO, Paulo Jose Melaragno. **Concreto: Estrutura, Propriedades, e Materiais**. São Paulo: Pini, 2008.

MENDES, René. Asbesto (amianto) e doença: revisão do conhecimento científico e fundamentação para uma urgente mudança da atual política brasileira sobre a questão. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p.7-29, jan.-fev. 2001.

MENDES DA SILVA, José António Raimundo. Alvenarias não estruturais. Patologias e estratégias de reabilitação. In: SEMINÁRIO SOBRE “PAREDES DE ALVENARIA. SITUAÇÃO ACTUAL E NOVAS TECNOLOGIAS”, PATOLOGIA EM PAREDES DE ALVENARIA. CAUSAS E SOLUÇÕES 84. **Atas...** Porto: Escola de Engenharia da Universidade do Minho e pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto na Fundação Dr. A. Cupertino de Miranda, 24 out. 2002. p.187- 206.

MENEZES, M.A.B.C.; JACÍMOVIĆ, R. Validation of the k₀-IAEA software using SMELS material at CDTN/CNEN, Brazil. **J. Radioanal. Nucl. Chem**, v. 278, p. 607-611, 2008.

MENEZES, M.A.B.C.; JACÍMOVIĆ, R. k₀-INAA quality assessment by analysis of soil reference material GBW07401 using the comparator and neutron flux monitor approaches. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 69, p.1057-1063, 2011.

MESQUITA, Karina Ferreira Castro *et al.* Avaliação da qualidade microbiológica da água consumida pela população da região amazônica um estudo de casos na ilha de Mosqueiro PA. **Scientia Amazonia**, v. 3, n. 3, p. 27-31, 2014.

MINEROPAR - Minerais do Paraná S.A. **Geoquímica de solo. Horizonte B: Relatório final de projeto**. Curitiba: Mineropar, 2005.

MIZUTANI, Rafael Futoshi *et al.* Doença pulmonar por metal duro: uma série de casos. **J. bras. pneumol.**, São Paulo, v. 42, n. 6, p. 447-452, Dec. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-37132016000600447&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 1º Sep. 2019.

MONACO, D. *et al.* Chemical characterization and spatial distribution of PAHs and heavy hydrocarbons in rural sites of Campania Region, South Italy. **Environ Sci Pollut Res**, v. 22, p. 14993, 2015. doi: 10.1007 / s11356-015-4733-y. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-015-4733-y>>. Acesso em: 14 maio 2017.

MOREIRA-SILVA, M. R. *et al.* Evidence for a correlation between total lead concentrations in soils and the presence of geological faults. **Environ Chem Lett**, 2017. Doi: 10.1007 / s10311-017-0617-3. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10311-017-0617-3>>. Acesso em: 12 maio 2017.

MUKWATURI, Miriam; LIN, Chuxia. Mobilization of heavy metals from urban contaminated soils under water inundation conditions, **Journal of Hazardous Materials**, v. 285, p. 445-452, 21 March 2015. ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.10.020>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389414008413>>. Acesso em: 14 de maio de 2017.

NEZAT, Carmen A.; HATCH, Shyla A.; UECKER, Ted Heavy metal content in urban residential and park soils: A case study in Spokane, Washington, USA, **Applied Geochemistry**, v. 78, p. 186-193, March 2017. ISSN 0883-2927, <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2016.12.018>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883292716306023>>. Acesso em: 12 maio 2017.

NASCIMENTO, Antonio Carlos Santos do Nascimento. **Tijolo Solo Cimento com Adição de Rejeito de Manganês do Sudeste Paraense**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos. A Abordagem Geotecnológica: a Geologia de Engenharia no Quinário. In: BITAR, Omar Yazbek (coord.). **Curso de Geologia aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo ABGE: IPT, 1995. p. 231-241.

OREM, W. H. *et al.* Toxicological Pathways of Relevance to Medical Geology, In: NRIAGU, J.O. (ed.). **Encyclopedia of Environmental Health**. Burlington: Elsevier, 2011. p. 373-384, ISBN 9780444522726, <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52272-6.00163-X>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978044452272600163X>>. Acesso em: 12 maio 2017.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 3. ed., São Paulo: Atlas, 2012.

PELOGGIA, A. U. G. A cidade, as vertentes e as várzeas: a transformação do relevo pela ação do homem no município de São Paulo. **Revista do Departamento de Geografia**, 16, p. 24-31, 2005.

PELOGGIA, A.U.G. **Delineação e aprofundamento temático da geologia do Tecnógeno do Município de São Paulo**. 1996. São Paulo. 262p. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, 1996.

PELOGGIA, Alex Ubiratan Goossens; SILVA, E. C. N.; NUNES, João Osvaldo Rodrigues. Technogenic landforms: conceptual framework and application to geomorphologic mapping of artificial ground and landscape as transformed by human geological action. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, p. 67-81, 2014. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/34811/23349>>. Acesso em: 11 maio 2017.

PEREIRA, Simone de Fátima Pinheiro *et al.* Determinação espectrofotométrica do arsênio em solo da cidade de Santana-AP usando o método do dietilditiocarbamato de prata (SDDC) modificado. **Acta Amaz., Manaus**, v. 39, n. 4, p. 953-960, 2009, <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000400023>. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672009000400023&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 13 May 2010.

PETERSEN, K. *et al.* Systematic Mapping Studies in Software Engineering. In: 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVALUATION AND ASSESSMENT IN SOFTWARE ENGINEERING (EASE), **Anais...** Italy, 10 p. 2008.

PRADO, Ulisses Soares. **Nova alternativa para reaproveitamento do resíduo perigoso gerado na produção de alumínio primário (SPL):** obtenção de vidros opacos e fritas. São Paulo: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, 2008.

REGO, Flávio Aragão Holanda; COELHO, Jesélia Fernanda Ribeiro; BARROS, Vera Lúcia Lopes de. Análise dos efeitos negativos causados pela queima do lixo doméstico em Áreas Urbanas de Caxias (MA). **Revista Humana Et Al**, Paço do Lumiar, v. 1, n. 1, p. 50 - 60, jul. 2014.

ROCHA, F.; FERREIRA DA SILVA, E. Geotourism, Medical Geology and local development: Cape Verde case study. **Journal of African Earth Sciences**, v. 99, Part 2, p. 735-742, Nov. 2014. ISSN 1464-343X, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2014.04.015>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464343X14001216>>. Acesso em: 13 maio 2017.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia:** Ambiente e Planejamento. 4. ed. São Paulo: Contexto. 1992.

SANTOS, Milton. **A Urbanização Desigual:** A Especificidade do Fenômeno Urbano em Países Subdesenvolvidos. Tradução de Antonia Déa Erdens e Maria Auxiliadora da Silva. 3. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012.

SANTOS, Milton. **A natureza do espaço:** técnica e tempo, razão e emoção. São Paulo: Hucitec, 1996.

SCARPELLI, Wilson. Arsênio do minério de manganês de Serra do Navio. **Novos Cadernos NAEA** v. 6, n. 1, p. 101-133, jun. 2003.

SCHUELER, Adriana Soares de; KZURE, Humberto; RACCA, Gustavo Badolati. Como estão os resíduos urbanos nas favelas cariocas?. **urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana**, Curitiba, v. 10, n. 1, p. 213-230, Apr. 2018. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2175-33692018000100213&lng=en&nrm=iso>. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.ao15>>. Acesso em: 10 ag. 2018.

SELINUS, Olle *et al.* **Essentials of Medical Geology**. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005.

SILVA, Erika Cristina Nesta; DIAS, Marcel Bordin Galvão; MATHIAS, Dener Toledo. The technogenic approach: theoretical reflections and case studies. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 05, n. 1, p.01-11, 2014. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/34521/23229>>. Acesso em: 13 maio 2017.

SINGH, Umesh Kumar; KUMAR, Balwant. Pathways of heavy metals contamination and associated human health risk in Ajay River basin, India, **Chemosphere**, v. 174, p. 183-199, May 2017. ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.103>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517301224>>. Acesso em: 15 maio 2017.

SHAMMAS, Nazih K. **Abastecimento de água e remoção de resíduos**. Tradução Luiz Claudio Queiroz Faria. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

SLACK, Nigel. **Administração da Produção**. Tradução Maria Teresa Corrêa de Oliveira. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

SOUZA, Gustavo Coelho. **Análise e mapeamento geológico-geotécnico nas áreas da Zona Especial de Interesse Ambiental - I: dinâmica de uso e ocupação do solo no Núcleo Urbano de Marabá-PA**. Monografia de conclusão de curso. Faculdade de Geologia. Instituto de Geociências e Engenharias, Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2019.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. In: SUERTEGARAY, D. M. A.; BASSO, L. A.; VERDUM, R. (org). **Ambiente e Lugar no urbano: a Grande Porto Alegre**. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS, 2000.

SUN, Weichao; ZHANG, Xia. Estimating soil zinc concentrations using reflectance spectroscopy, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 58, p. 126-133, June 2017. ISSN 0303-2434, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.01.013>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0303243417300132>>. Acesso em: 14 maio 2017.

TEIXEIRA, Wilson *ET AL.* **Decifrando a Terra**. São Paulo Oficina de Textos. 2000.

TER-STEPANIAN, George. Beginning of the Technogene. **Bulletin of the International Association of Engineering Geology**, 38, p. 133-142. 1988.

TUBINO, Matthieu; SIMONI, José de Alencar. Refletindo sobre o caso celobar®. **Quím. Nova**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 505-506, abr. 2007. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000200048&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 1º set. 2019.

VALLE, José Ângelo Santos do. **Gerenciamento de stakeholders em projetos**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2014.

WANG, Yirun *et al.* Assessment of multiple exposure to chemical elements and health risks among residents near Huodehong lead-zinc mining area in Yunnan, Southwest China, **Chemosphere**, v. 174, p. 613-627, May 2017. ISSN 0045-6535, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.01.055>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653517300656>>. Acesso em: 17 maio 2017.

WARDROP, Nicola Ann; LE BLOND, Jennifer Susan. Assessing correlations between geological hazards and health outcomes: Addressing complexity in medical geology, **Environment International**, v. 84, p. 90-93, Nov. 2015. ISSN 0160-4120, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.07.016>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015300234>>. Acesso em: 14 maio 2017:

WEN, Xiaojun *et al.* Assessment of heavy metals contamination in soil profiles of roadside Suaeda salsa wetlands in a Chinese delta, **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 97, p. 71-76, Feb. 2017. ISSN 1474-7065. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.01.001>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706516303011>>. Acesso em: 13 maio 2017.

WEI, Y. Z.; ZHOU, X. B. Effect of neodymium on physiological activities in oilseed rape during calcium starvation. **Journal of Rare Earths**, v. 18, p. 57-61, 2000.

XIA, X. *et al.* Heavy metals in urban soils with various types of land use in Beijing, China, **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, Issues 2–3, p. 2043-2050, 28 Feb. 2011. ISSN 0304-3894, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.104>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389410016845>>. Acesso em: 11 maio 2017.

YOUNES, Khaled *et al.* Molecular biomarkers study of an ombrotrophic peatland impacted by an anthropogenic clay deposit, **Organic Geochemistry**, v. 105, p. 20-32, Mar. 2017. ISSN 0146-6380, <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2016.12.005>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0146638016304065>>. Acesso em: 10 maio 2017.

ZAHRA, Azmat *et al.* Enrichment and geo-accumulation of heavy metals and risk assessment of sediments of the Kurang Nallah—Feeding tributary of the Rawal Lake Reservoir, Pakistan, **Science of The Total Environment**, vv. 470–471, p. 925-933, 1 February 2014. ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.017>. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713011613>>. Acesso em: 14 maio 2017.

ZHAO, Long *et al.* Source identification and health risk assessment of metals in urban soils around the Tanggu chemical industrial district, Tianjin, China, **Science of The Total Environment**, vv. 468–469, p. 654-662, 15 January 2014. ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.08.094>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713010218>>. Acesso em: 14 maio 2017.