

Caracterização dos sólidos sedimentados na rede coletora de esgoto da região metropolitana de Belém-PA-Brasil

Characterization of sedimented solids in the sewage collection network of the metropolitan region of Belém -PA-Brazil

Gabriela Rousi Abdon da Silva

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Pará, Brasil

gabiabdon@hotmail.com

 ORCID: 0000-0001-8960-7076

Francisco Carlos Lira Pessoa

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Pará, Brasil

prof.fclpessoa@gmail.com

 ORCID: 0000-0002-6496-9043

Risete Maria Queiroz Leão Braga

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Pará, Brasil

risetemaria@yahoo.com.br

 ORCID: 0000-0003-4267-7426

Bruno Santana Carneiro

Pesquisador do Instituto Evandro Chaga

Pará, Brasil

brunocarneiro@iec.gov.br

 ORCID: 0000-0001-7436-8340

Edgleuberson Guimarães Rocha

Companhia de Saneamento do Pará (COSANPA)

Pará, Brasil

edgleuberson@gmail.com

 ORCID: 0000-0002-9494-1834

Información del artículo

Recibido: 18/11/2023

Revisado: 06/09/2024

Aceptado: 24/09/2024

Online: 27/02/2025

Publicado: 10/07/2025

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI 10.17561/at.27.8183

RESUMO

Um dos passivos ambientais relacionados a coleta e tratamento de esgoto são os sedimentos encontrados nas redes coletoras e nas estações de tratamento. Autores relatam que os sedimentos das ETE's são passíveis de reciclagem, subordinando-se apenas a sua composição, questiona-se então a reciclagem de sedimentos encontrados nos poços de visita. Assim, este estudo objetivou caracterizar os sedimentos de três poços de visita na rede coletora de esgoto da Região Metropolitana de Belém, para tal, realizou-se, em 2021, análises físicas e químicas, a exemplo da caracterização granulométrica e análise de metais, nos três pontos de coleta em dois períodos distintos. Ao fim, observou-se que, dentre os pontos comercial, residencial e misto, e os períodos mais chuvoso e menos chuvoso, a fração granulométrica característica de todos os pontos pertence à faixa de areia fina e o ponto residencial do período menos chuvoso apresentou risco ambiental, devido a altas concentrações de chumbo.

PALAVRAS-CHAVE: Sedimentos de esgoto, Reciclagem, Estação de tratamento de esgoto, Caracterização, Belém.

ABSTRACT

One of the environmental liabilities related to sewage collection and treatment are the sediments found in collection networks and treatment stations. Authors report that ETE's sediments are subject to recycling, subordinated only to their composition, so the recycling of sediments found in manholes is questioned. Thus, this study aimed to

characterize the sediments of three manholes in the sewage collection network of the Metropolitan Region of Belém, for this purpose, physical and chemical analyzes were carried out in 2021, such as the granulometric characterization and analysis of metals, in the three collection points in two distinct periods. In the end, it was observed that, among the commercial, residential and mixed points, and the rainy and less rainy periods, the granulometric fraction characteristic of all points belongs to the fine sand strip and the residential point of the less rainy period presented risks to environment, due to high concentrations of lead.

KEYWORDS: Sewage sediment, Recycling, Sewage treatment plant, Characterization, Belém.

Caracterización de sólidos sedimentados en la red de alcantarillado de la región metropolitana de Belém-PA-Brasil

RESUMEN

Uno de los pasivos ambientales relacionados con la recolección y tratamiento de aguas residuales son los sedimentos que se encuentran en los sistemas. Autores reportan que sedimentos de la ETE pueden ser reciclables, dependiendo de su composición, cuestionando el reciclaje de sedimentos que se encuentran en pozos de inspección. Así, se objetivó en este estudio caracterizar sedimentos de tres pozos de inspección de la red de alcantarillado de la Región Metropolitana de Belém, para ello, se realizaron análisis físicos y químicos en 2021, como la caracterización granulométrica y análisis de metales, en los tres puntos de recolección en dos periodos distintos. Al final se observó que, entre los puntos comercial, residencial y mixto, y los períodos lluvioso y menos lluvioso, la fracción granulométrica característica de todos pertenece a la franja de arena fina y el punto residencial del período menos lluvioso presentó peligro ambiental por las altas concentraciones de plomo.

PALABRAS CLAVE: Planta de tratamiento, Reciclaje, Tratamiento de aguas residuales, Caracterización, Belém.

Caractérisation des solides sédimentés dans le réseau de collecte des eaux usées de la région métropolitaine de Belém-PA-Brésil

RÉSUMÉ

Les sédiments présents dans les réseaux de collecte et les stations d'épuration constituent l'un des risques environnementaux liés à l'assainissement. Les auteurs rapportent que les sédiments des stations d'épuration

peuvent être recyclés, en fonction de la composition, ce qui demande si sur le recyclage de ceux trouvés dans les trous d'homme. Cette étude visait à caractériser les sédiments de trois regards de la région métropolitaine de Belém. En 2021, des analyses physiques et chimiques ont été réalisées, l'exemple caractérisation granulométrique et l'analyse des métaux, aux trois points étudiés en deux périodes. Il a été observé que parmi les points commerciaux, résidentiels et mixtes, et les périodes les plus pluvieuses et les moins pluvieuses, la fraction granulométrique caractéristique de tous les points appartient à la gamme des sables fins, et le point résidentiel de la période avec moins de pluie présentait un risque environnemental en raison de concentrations élevées de plomb.

MOTS-CLÉ: Sédiments d'eaux usées, Recyclage, Station d'épuration des eaux usées, Caractérisation, Belém.

Caratterizzazione dei solidi sedimentati nella rete di raccolta delle acque reflue della regione metropolitana di Belém-PA-Brasile

SOMMARIO

I sedimenti presenti nelle reti di raccolta e negli impianti di trattamento delle acque reflue sono uno dei rischi ambientali associati ai servizi igienico-sanitari. Autori riferiscono che i sedimenti provenienti dagli impianti di trattamento delle acque reflue possono essere riciclati, a seconda della composizione. Chiediti così se i sedimenti trovati nei tombini possano essere riciclati. Lo scopo di questo studio è stato quello di caratterizzare i sedimenti di tre tombini nell'area metropolitana di Belém. Nel 2021 sono state effettuate analisi fisiche e chimiche, come la caratterizzazione granulometrica e l'analisi dei metalli, nei tre punti studiati in due periodi. È stato osservato che tra i punti commerciali, residenziali e misti, e nei periodi con maggiori e minori precipitazioni, la frazione granulometrica caratteristica di tutti i punti apparteneva alla gamma delle sabbie fini, e il punto residenziale nel periodo con minori precipitazioni presentava rischio ambientale a causa delle elevate concentrazioni di piombo.

PAROLE CHIAVE: Sedimenti fognari, Riciclaggio, Impianto di trattamento delle acque reflue, Caratterizzazione, Belém.

Introdução

A necessidade de investimentos na área do saneamento só aumenta, tangendo principalmente o tratamento e abastecimento de água à população, como também o tratamento do esgoto gerado. Deve-se ressaltar que, assim como as demais ações humanas, a implantação e funcionamento de ETA's e ETE'S geram resíduos. As ETE's geram subprodutos líquidos, sólidos, semissólidos e gasosos¹, e, destaca-se como o principal subproduto, o lodo de esgoto².

No conjunto que abrange o tratamento de esgoto, a rede coletora serve como um sistema para acúmulo de sólidos, o que favorece os processos físicos, químicos e biológicos, afetando diretamente o tratamento da água residual.

Os sólidos encontrados nas redes de esgoto se tornaram objeto de estudos na França e no Reino Unido nos anos 80³ e no México em 2004⁴, ambos os estudos, objetivaram a busca de soluções alternativas de reutilização desse material, tendo em vista que, usualmente, estes sólidos são depositados em áreas que funcionam como aterros.

Outra forma de destinação final dos sólidos de esgoto é a incineração, processo este de custo considerável e altamente sensível, demandando um sistema rígido para funcionamento e controle. A incineração é amplamente utilizada nos Estados Unidos, entretanto, há estados e condados estadunidenses que optam pela disposição em aterros⁵. As duas maiores problemáticas que envolvem a disposição final desses sólidos no solo são: A possibilidade de contaminação do solo devido à inexistência de análise prévia dos componentes químicos e a perspectiva do esgotamento da capacidade e funcionalidade das áreas utilizadas⁶.

No cenário nacional, o modelo de destinação dos sólidos retirados das redes de esgoto e nas estações de tratamento seguem a metodologia mais utilizada mundialmente, áreas próximas às estações de tratamento ou até mesmo aterros sanitários são os locais utilizados para a disposição final desse tipo de material⁷. As mesmas questões são pontuadas, contaminação do solo, o

esgotamento de áreas, crescendo a elas o alto custo que envolve o transporte, destinação e até a utilização inadequada de aterros de resíduos sólidos domésticos para esta finalidade.

Neste contexto, as várias possibilidades de aproveitamento do bio-sólido podem abranger diversas áreas como a construção civil⁸ e a área florestal⁹. A composição química dos bio-sólidos de esgoto está correlacionada ao tipo de uso do solo¹⁰, de modo complementar, as concentrações de metais pesados em lodos e sedimentos de esgoto são fatores cruciais para inferir sua possível utilização¹¹.

Ressalta-se, então, que a reciclagem dos sedimentos depende diretamente da composição química dos mesmos, revelado assim a existência ou não da possibilidade de tratamento desses bio-sólidos, especificando o processo de higienização e, conseqüentemente, a tipologia de reciclagem mais adequada para cada subproduto. Salienta-se que cada região necessitará de estudo específico, já que tanto as condições físicas, climáticas, ambientais e sociais, irão interferir nas características físicas, químicas e biológicas de cada subproduto gerado.

Em vista disso, este estudo objetiva a caracterização física e química dos sedimentos presentes em poços de visita da rede coletora de esgoto da região metropolitana de Belém, estado do Pará - Brasil, levando em consideração os aspectos econômicos, físicos e sociais de cada localidade de coleta, visando por fim, a obtenção de um comparativo entre pontos e avaliando as possibilidades de uso do material coletado.

Área de estudo

A Região Metropolitana de Belém (RMB) é composta pelos municípios de Ananindeua, Belém, Benevides, Marituba, Santa Bárbara do Pará e Santa Isabel do Pará. Estima-se que em 2022 a RMB abrigue cerca de 2.272.032 habitantes, o que representa um terço da população paraense¹². Ocupa uma área de 3.565 km², cerca de 1 % de toda área do estado. Dentre os municípios da RMB, somente dois serão objetos de estudo, Belém e Marituba.

¹ Azevedo, 2014, 2.

² Abreu et al., 2019, 591.

³ Ashley et al., 2003.

⁴ Jiménez et al., 2004, 171-178.

⁵ Borges, 2016, 77-78.

⁶ Jiménez et al., 2004, 171-178. Ashley et al., 2003.

⁷ Borges, 2016, 77-78.

⁸ Borges, 2016, 77-78. Silva et al., 2018, 4. Freire, 2018, 18.

⁹ Abreu et al., 2019, 593-597.

¹⁰ Ballén et al., 2016, 2.

¹¹ Yesil et al., 2021.

¹² Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2020.

Foram abordados nesta pesquisa 03 (três) pontos de coleta das amostras de sedimentos de esgoto, distribuídos em 03 (três) setores distintos, 02 (dois) pontos dentro do município de Belém e 01 (um) ponto dentro do município de Marituba.

Determinou-se então a coleta representativa do Sistema Antigo Centro, outro do sistema PROSEGE e, por fim, do Residencial Viver Melhor Marituba (Mapa 1).

Belém, capital do estado do Pará, é o município com maior IDH do estado, e conta com aproximadamente 1.506.420 habitantes, ocupando cerca de 1.059 km²¹³. O município está situado em zona equatorial distante à 120 km do Oceano Atlântico, apresentando clima sub-tropical úmido, situado na zona climática Af, segundo a classificação de Köppen, sendo os meses de junho a novembro os menos chuvosos¹⁴. As precipitações anuais podem ultrapassar 3.000 mm na região sul de Belém e a temperatura média supera 26 °C¹⁵.

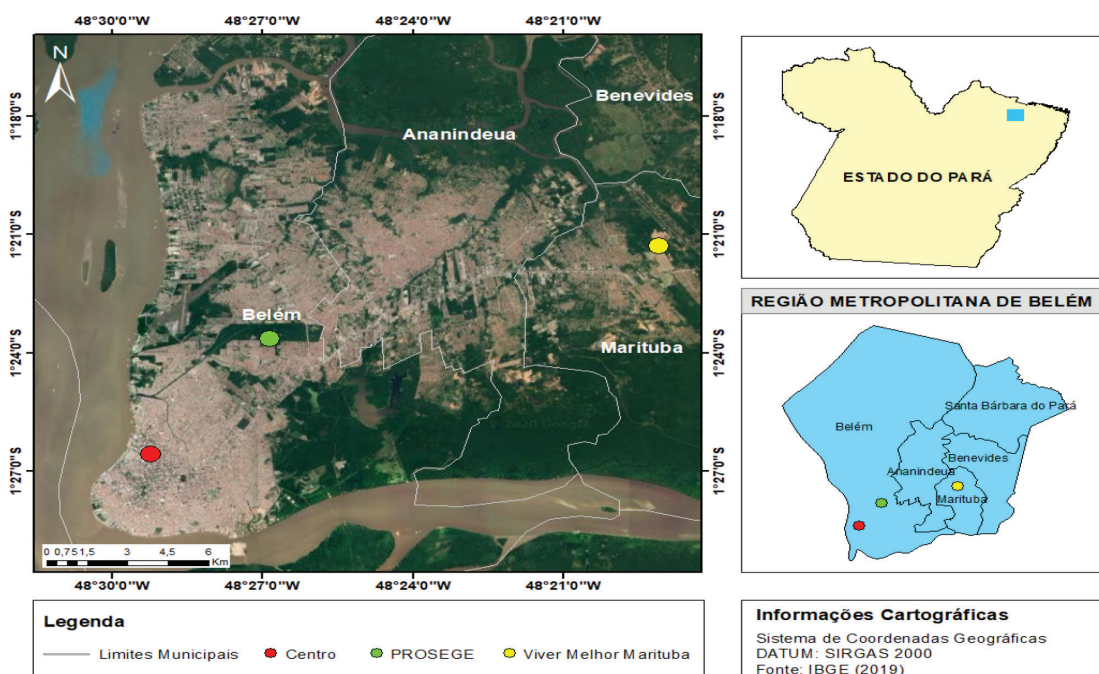
Belém, apresenta atualmente cerca de 20,46 % do esgoto coletado por rede, onde somente cerca de 10,66 %

do material coletado é tratado. No cenário atual, 31,06 % dos moradores da capital paraense contam com soluções individuais para tratamento dos efluentes gerados e, a maior parcela da população, cerca de 48,48 %, não tem acesso a rede coletora e nem apresenta tratamento para seu esgoto gerado¹⁶.

Por sua vez, o município de Marituba é parte integrante da Região Metropolitana de Belém, considerado como um município novo já que sua emancipação só ocorreu em 1994¹⁷. Tem distância aproximada de 11 km em relação à capital paraense, e é caracterizado pela expansão de núcleos urbanos, o que faz com que ocorram representativos problemas socioeconômicos e ambientais¹⁸.

Dados referente ao município de Marituba apontam que somente 4,38 % do esgoto gerado é coletado, e não há tratamento para esse efluente. 14,51 % da população utiliza alguma forma de solução individual para seu efluente gerado e 81,11 % da população residente do município não possui nenhum tipo de coleta ou tratamento de esgoto¹⁹.

Mapa 1. Localizações dos pontos de amostragem



Fonte: Autores, 2020.

¹³ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2020.

¹⁴ Moreira et al., 2019, 74.

¹⁵ Alvares et al., 2013, 717.

¹⁶ Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), 2020.

¹⁷ Santos; Nogueira, 2020, 399.

¹⁸ Paixão et al., 2020, 2876.

¹⁹ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2020.

Metodologia

Foram escolhidos três pontos de amostragem dentro da Região Metropolitana de Belém, com base nas demandas da COSANPA, cada ponto faz referência a uma tipologia de amostra: Residencial, Comercial e Misto. Os dois pontos inseridos no município de Belém são o do bairro da Marambaia e do bairro do Reduto, este último sofre grande influência do bairro da Campina.

O ponto inserido no município de Marituba é dentro do Residencial Viver Melhor Marituba, assim, sua área de influência é a da contribuição advinda somente da coleta condominial.

A partir dos dados obtidos no anuário estatístico do município de Belém e nos dados eletrônicos disponíveis no Atlas do Desenvolvimento Humano, foi possível organizar os dados referentes aos bairros de amostragem pertencentes ao município de Belém e no caso do município de Marituba.

São nítidas as diferenças sociais entre os bairros, principalmente na questão de renda e escolaridade. Destaca-se a porcentagem de domicílios com banheiro e água encanada no município de Marituba, 78,47 %, o que significa que cerca de 21,53 % da população residente na região não apresenta condições hidrossanitárias adequadas à habitação humana.

Coleta e secagem

Foram coletadas amostras de cada um dos 03 (três) pontos da Região Metropolitana de Belém, sendo uma

amostra de líquido e duas de semissólidos por ponto e por sazonalidade.

A metodologia de coleta foi adaptada²⁰, devido a impossibilidade da realização de coleta diretamente dos PV's. Sendo assim, as amostras foram coletadas diretamente do caminhão hidrojato.

Cerca de 0,5 Kg de semissólido e aproximadamente 4 L de líquido foram coletados para as análises químicas. Uma parcela de 0,5 a 10 kg de material em estado semissólido foi destinada para as análises físicas (Figura 1).

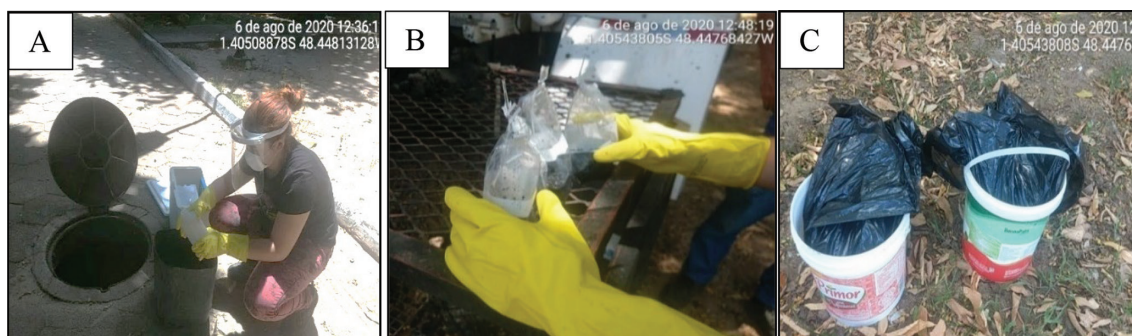
O processo de secagem escolhido para ser aplicado no material foi o de exposição solar. Sua escolha se deu devido à facilidade de execução e baixo custo de realização. Esse método apresenta boa eficiência para a secagem do material como também para desinfecção e remoção de patógenos, sem que ocorra a diminuição significativa da matéria orgânica²¹.

Análises

Na Tabela 1 é relatado os parâmetros físicos e químicos realizados nas amostras de sedimento e as respectivas técnicas de análise utilizadas.

As análises de BTEX e Metais foram realizados no Instituto Evandro Chagas, e as demais no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal do Pará (UFPA).

Figura 1. A) Coleta do material líquido; B) Coleta do material sólido (análise química); C) Coleta do material sólido (análises físicas)



Fonte: Autores, 2020.

²⁰ Fernández; Monzón; Gonzáles, 2009, 147.

²¹ Sweya; Mgana, 2020.

Tabela 1. Tipos de amostras, parâmetros a serem analisados e respectivas técnicas de análises

Tipo de amostra	Parâmetros	Técnica de Análise
Líquida	BTEX	A determinação de BTEX em amostras de água será realizada conforme o método EPA 0010 (EPA, 2007).
Sólido úmido	Metais	Os metais Alumínio (Al), Bário (Ba), Cádmio (Cd), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Níquel (Ni), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Sódio (Na) e Zinco (Zn) serão analisados por Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Induzido (ICP OES), no equipamento ICP-OES Modelo Vista- MPX CCD simultâneo, axial da VARIAN® com um sistema de amostragem automático (SPS- 5).
	Umidade	ABNT NBR 6457/2016
	Granulometria	ABNT NBR 7181:2016, versão corrigida:2017
Sólido pós exposição solar	Massa específica	ABNT NBR 6458/2016
	Limite de Liquidez	ABNT NBR 7180/2016
	Limite de plasticidade	ABNT NBR 7180/2016

Fonte: Autores, 2020.

Resultados e discussão

A caracterização física e química dos solos sedimentados nos pontos de coleta (PROSEGE Marambaia, sistema antigo e Residencial Marituba) foi realizada em dois períodos distintos: período menos chuvoso e o período chuvoso.

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização para o ponto de coleta da rede de esgoto PROSEGE - Região Metropolitana de Belém.

Os resultados das análises químicas e físicas do ponto de coleta “Sistema Antigo” dentro do município de Belém, estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 2. Resumo resultados ponto PROSEGE Marambaia

PROSEGE		
Data coleta	06/08/2020	11/01/2021
Parâmetros Físicos	Período menos chuvoso	Chuvoso
Massa específica	2,61 g/cm ³	2,61 g/cm ³
Porcentagem de areia fina	62,07 %	48,07 %
Limite de Liquidez	23,61 %	Não aplicável
Limite de Plasticidade	Não Plástico	Não Plástico
Parâmetros químicos	Período menos chuvoso	Chuvoso
Btex	Abaixo dos limites	Abaixo dos limites
Metais	Alumínio 285,52 mg/L; Ferro 55,62 mg/L	Abaixo dos limites

Fonte: Autores, 2022.

Tabela 3. Resumo resultados Sistema Antigo

Sistema Antigo		
Data coleta	25/08/2020	25/02/2021
Parâmetros Físicos	Período menos chuvoso	Chuvoso
Massa específica	2,61 g/cm ³	2,60 g/cm ³
Porcentagem de areia fina	68,85 %	70,77 %
Limite de Liquidez	Não aplicável	Não aplicável
Limite de Plasticidade	Não Plástico	Não Plástico
Parâmetros químicos	Período menos chuvoso	Chuvoso
Btex	Abaixo dos limites	Abaixo dos limites
Metais	Alumínio 69,47 mg/L; Ferro 30,63 mg/L	Abaixo dos limites

Fonte: Autores, 2022.

A Tabela 4 apresenta o resumo dos resultados do condomínio Viver Melhor Marituba, localizado no município de Marituba.

Quanto ao comparativo dos resultados laboratoriais, é possível observar que tanto a variação sazonal como as características socioeconômicas do local de coleta não alteraram significativamente a massa específica, resultando todos os ensaios em valores variando entre 2,59 g/cm³ a 2,61 g/cm³.

Agregados miúdos utilizados para a produção de cimento, apresentam massa específica em torno de 2,57 g/cm³²². A massa específica da areia residual do

²² Fernandez et al., 2018, 3.

Tabela 4. Resumo resultados Viver Melhor Marituba

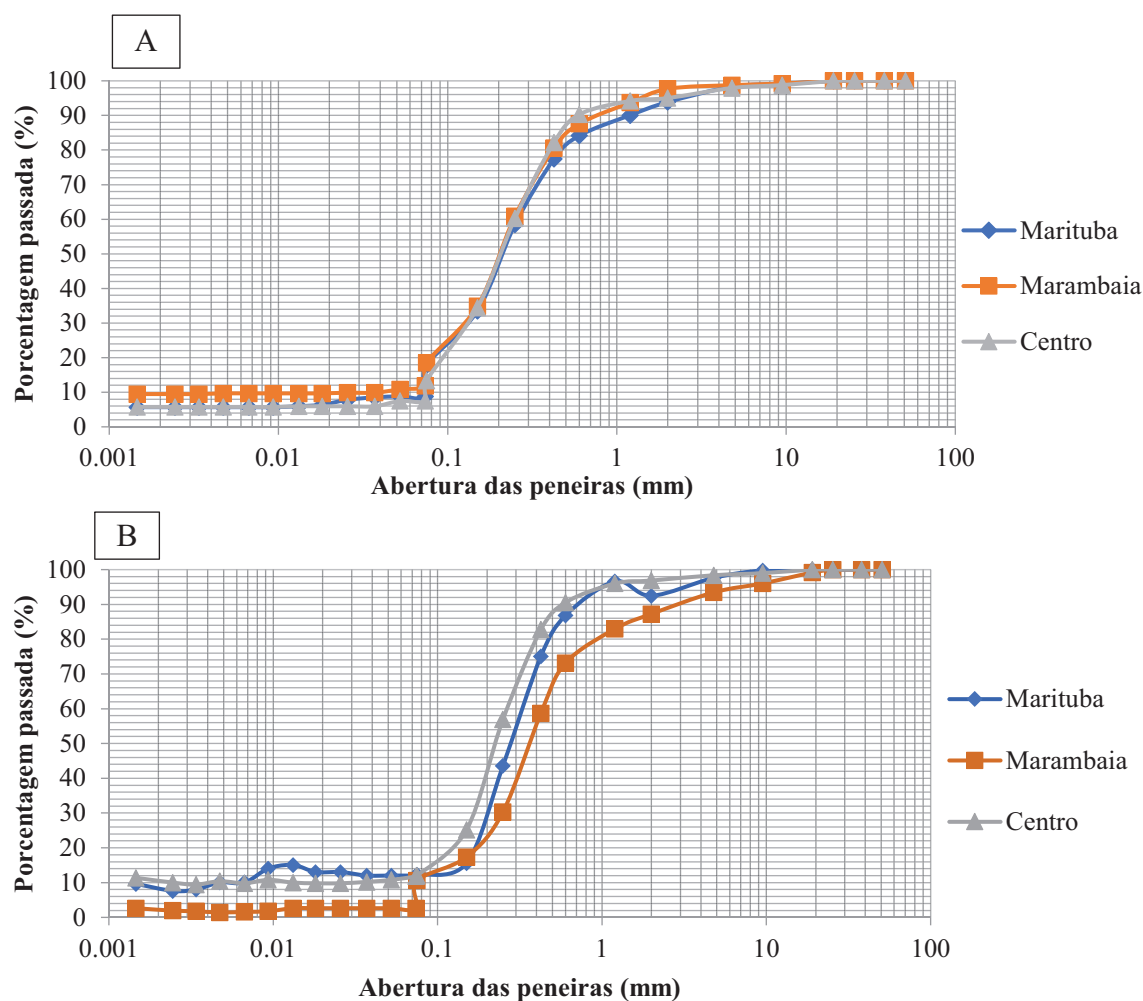
Viver Melhor Marituba		
Data coleta	14/08/2020	09/03/2021
Parâmetros Físicos	Período menos chuvoso	Chuvoso
Massa específica	2,59 g/cm ³	2,60 g/cm ³
Porcentagem de areia fina	62,71 %	59,67 %
Limite de Liquidez	Não aplicável	Não aplicável
Limite de Plasticidade	Não Plástico	Não Plástico
Parâmetros químicos	Período menos chuvoso	Chuvoso
Btex	Abaixo dos limites	Abaixo dos limites
Metais	Alumínio 70,14 mg/L; Chumbo 138,37 mg/L	Abaixo dos limites

Fonte: Autores, 2022.

tratamento preliminar de ETE é de aproximadamente 2,44 g/cm³²³, assim o material estudado tem compatibilidade deste parâmetro para utilização em materiais cimentícios.

A Figura 2 mostra o comparativo da granulometria dos três pontos, onde é possível observar que mesmo com a diferença de tipo de uso e ocupação do solo e a diferença de sazonalidade, as maiores porcentagens de material são de areia, especificamente de areia fina.

A expressiva porcentagem de areia em ambos os pontos é condizente com as características de sedimentos apresentados em drenos de concreto na Malásia, onde a areia é o componente principal dentre os sedimentos e os siltes e argilas se apresentam como componentes secundários²⁴.

Figura 2. Granulometria, comparativo dos três pontos. A) Período Menos Chuvoso; B) Período Mais Chuvoso.

Fonte: Autores, 2021.

²³ Borges, 2016, 70-78.²⁴ Bong; Lau; Ghani, 2014, 76-88.

Ainda sobre a características granulométricas do material, o material encontrado em caixas de areia de ETE's pode ser considerado como areia fina, sugerindo uma aplicação em materiais cimentícios, argamassas e até mesmo revestimentos²⁵, com porcentagens de partículas maiores que 0,075 mm iguais ou superiores a 50 %²⁶.

As diferenças encontradas nas granulometrias, tanto entre os pontos quanto ao período de coleta, se dão devido a diferença do tipo de sedimento que cada ponto gera correlato ao uso do solo em cada área²⁷ e o fator diluição.

Quanto aos BTEX, em ambos os períodos e pontos, não há a presença de BTEX em concentrações alarmantes ou que impossibilitem sua utilização, todos se encontram abaixo das concentrações estabelecidas pela Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece padrões de lançamento de efluentes.

Na Cidade do México, foram encontrados valores de Benzeno, Xileno e Tolueno abaixo dos valores estabelecidos para norma Mexicana usada como referência nos canais abertos, barragens e outros. Entretanto, nas chamadas estações de transferência, que se assemelham a funcionalidade do caminhão hidrojetado, foram encontrados valores de hidrocarbonetos totais elevados²⁸.

De maneira geral, os valores encontrados de BTEX para os três pontos de estudo nos dois períodos de amostragem não interferem na reciclagem do material, sendo os mesmos considerados insignificantes em comparação aos valores estabelecidos pela resolução supracitada.

Os resultados da análise de metais são apresentados na Figura 3, onde nota-se a presença de ferro em concentrações acima dos limites estabelecidos pela Resolução Conama nº 430/2011 no período seco ou menos chuvoso, nos pontos Marambaia e Centro. Já as concentrações altas de alumínio foram observadas em todos os 03 (três) pontos neste mesmo período. Destaca-se a alta concentração de chumbo no ponto Marituba no período seco.

Analisando ainda a Figura 3, observa-se que no período chuvoso nenhum dos metais excedeu o limite

estabelecido para despejo de efluentes segundo a Resolução Conama nº430/2011. A concentração de poluentes em sólidos sedimentáveis de esgoto são maiores em tempo seco²⁹.

É importante discutir sobre a presença de chumbo no ponto Marituba no período seco que não é compatível com o esperado. Expectava-se a ocorrência de metais pesados em concentrações elevadas somente em pontos considerados comerciais³⁰.

O chumbo encontrado no período seco no ponto Marituba, não foi presente em concentração significativa no período chuvoso, em vista disso, foi realizada uma visita mais detalhada no ponto em questão afim de verificar se há algum fator que explique a descarga desse tipo de componente, ou avaliar a possibilidade de este ter sido um lançamento pontual.

Quanto as altas concentrações de ferro encontradas nos pontos Centro e Marambaia, essas não interferem na possível aplicação do material no solo, assim, mesmo o esgoto apresentando alta concentração de ferro, a irrigação do solo com este não altera significativamente a concentração deste componente no solo³¹.

Em relação ao parâmetro alumínio, a legislação brasileira não apresenta valor de referência, considerando as águas residuais, entretanto, concentrações de alumínio superiores a 90 mg/L, são encontradas em águas que sofrem descargas de mineração apresentando elevada acidez³², destaca-se também que é comum a presença de alumínio nos solos brasileiros e que as altas concentrações desse metal em solos ácidos pode desfavorecer o crescimento de algumas espécies de plantas, o que pode vir a interferir na aplicabilidade do material estudado como adubo para alguns tipos de plantação³³.

O parâmetro alumínio, o ponto com uso do solo residencial e comercial apresentaram valores bem aproximados, enquanto o ponto de uso misto apresentou um valor expressivamente elevado para o período menos chuvoso (Figura 4).

O fato de o alumínio ser encontrado em maior concentração no ponto comercial e no ponto misto está de acordo com o esperado. O tipo de uso do solo influencia na concentração de alumínio no esgoto, onde pontos

²⁵ Freire, 2018, 16-18.

²⁶ Arulrajah et al., 2011, 2522-2526.

²⁷ Fernández; Monzón; Gonzáles, 2009, 150-152. Wang et al., 2021.

²⁸ Jiménez et al., 2004, 176-178.

²⁹ Fernández; Monzón; Gonzáles, 2009, 150-152, 153-155.

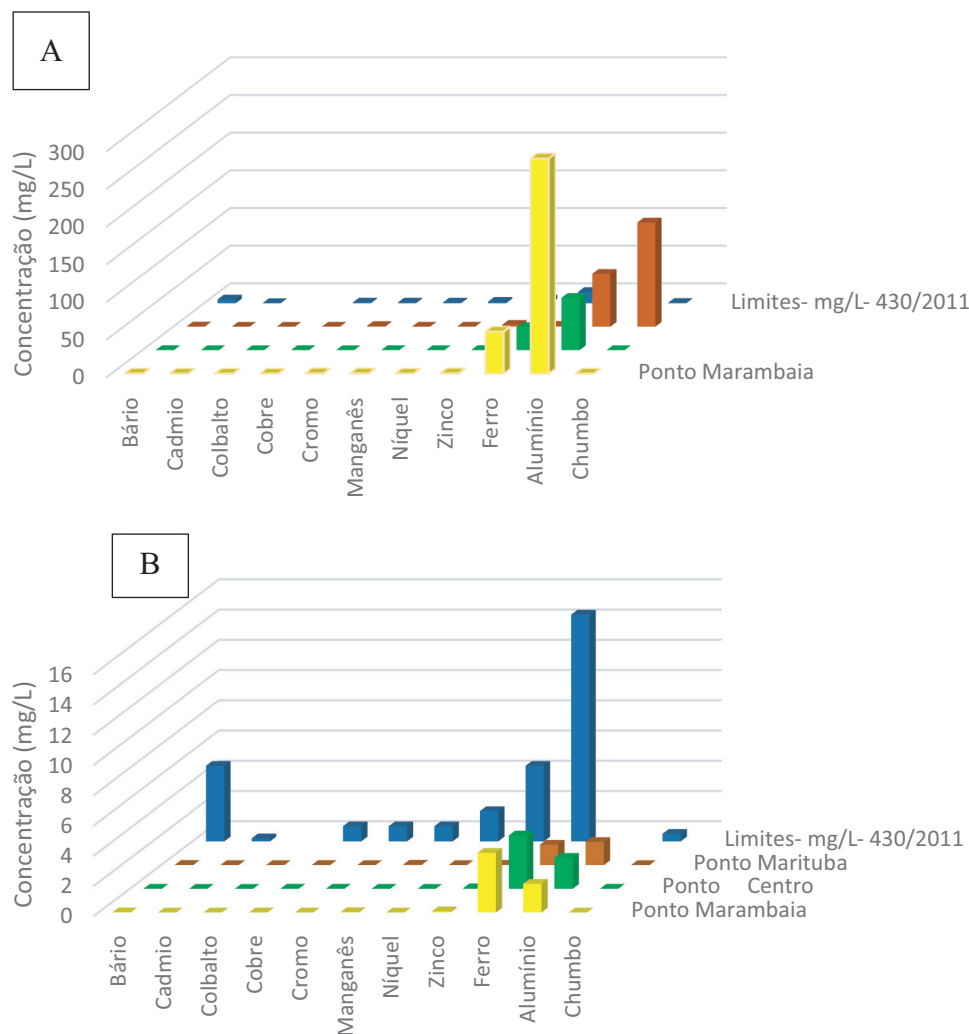
³⁰ Wang et al., 2021.

³¹ Mass et al., 2014, 103-105.

³² Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB, 2019, 10.

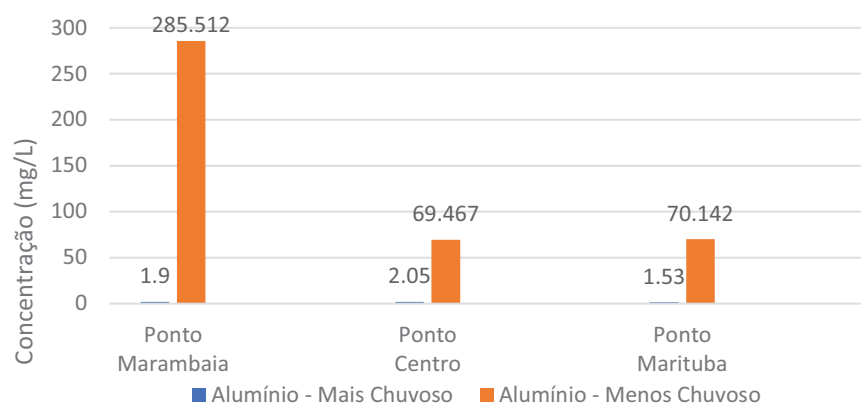
³³ Miguel et al., 2010, 16.

Figura 3. Comparativo das concentrações de metais; A) Período menos chuvoso; B) Período mais chuvoso



Fonte: Autores, 2021.

Figura 4. Concentração de Alumínio e uso do solo



Fonte: Autores, 2022.

comerciais são mais propensos a altas concentrações desse metal³⁴. Quanto as características físicas como granulometria e massa específica, essas não apresentaram relação com o tipo de uso do solo em cada ponto de amostragem.

Em períodos chuvosos mesmo com o aumento do escoamento superficial e o consequente crescimento de lixiviação de metais, o aumento de vazão contribui com a diluição dos mesmos³⁵, o que embasa o fato de no período chuvoso para ambos os pontos analisados, as concentrações de Alumínio serem ínfimas quando comparadas ao período menos chuvoso.

A concentração de ferro apresentou variações de acordo com o tipo de uso de solo (Figura 5). No ponto residencial (Viver melhor Marituba), o valor da concentração de ferro foi bem abaixo em ambos os períodos estudados. Em relação aos pontos misto e comercial, o parâmetro ferro não seguiu o esperado.

Conclusões e recomendações

A problemática dos sólidos sedimentados na rede coletora de esgoto se mostrou importante, não só do ponto de vista ambiental como também econômico, devido as diversas possibilidade de reinserção desse material no meio produtivo das mais diversas áreas, tendo destaque a construção civil e a agricultura. Ao passo que para iniciar seu estudo de reintrodução na cadeia produtiva é crucial a caracterização do material a ser utilizado.

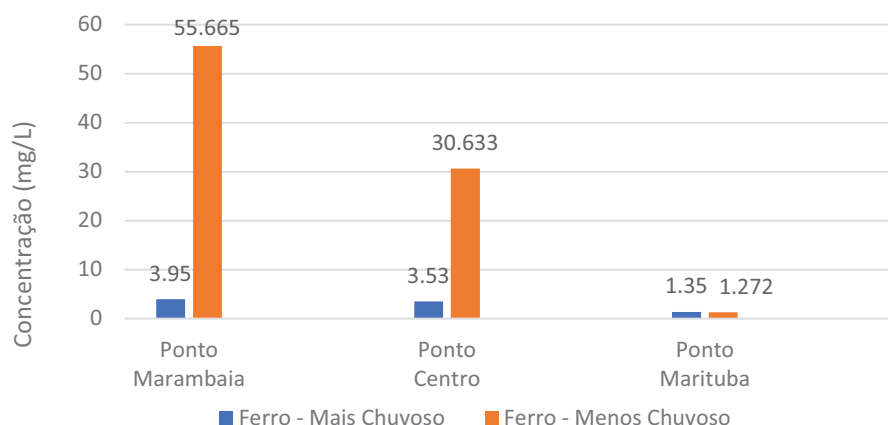
Assim, os resultados das análises granulométrica dos materiais coletados nos três pontos distintos e nos dois períodos sazonais, foram considerados favoráveis, devido sua compatibilidade com as referências bibliográficas estudadas. É notório a maior diferença granulométrica entre os pontos no período chuvoso, isso se deve tanto a maior taxa de diluição, quanto também a diferença de uso do solo.

As diferenças entre as características sociais não se mostraram tão relevantes como fatores de interferência nos resultados das análises laboratoriais, entretanto as desigualdades sociais e econômicas podem interferir no quantitativo do material produzido.

A maior diferenciação entre os pontos foi observada quanto ao chumbo encontrado no período seco para o ponto de coleta Marituba, que foi investigado e não apresentou nenhuma descarga específica que explicasse tal concentração. Para posteriores estudos, que venham a utilizar este ponto em questão, recomenda-se a coleta e análise mensal do material retirado, para que se comprove que a alta concentração de chumbo foi um ponto fora da normalidade.

De modo geral, as amostras de biossólidos coletadas nos 03 (três) pontos distintos e nos dois períodos sazonais, analisadas química e fisicamente, com finalidade de avaliar sua possibilidade de reciclagem, se mostraram, em comparação aos estudos utilizados como referência³⁶, aptas as mais diversas maneiras de reincorporação, seja na área de construção civil, seja na área da agricultura.

Figura 5. Concentração de Ferro e uso de solo



Fonte: Autores, 2022

³⁴ Cárdenas et al., 2017, 579-581.

³⁵ Magalhães et al., 2016, 843.

³⁶ Borges, 2016, 70-78. Freire, 2018, 16-18. Alves et al., 2021, 1-8.

As amostras analisadas neste estudo apresentaram características físicas similares a areia fina para aplicação na construção civil e com baixas concentrações de metais pesados, isolando-se o caso da presença de chumbo em uma das amostras, as demais apresentaram-se passíveis para as aplicabilidades agrícolas, como cultivo do milho e de girassóis.

Por fim, destaca-se que a pesquisa foi realizada em meio a ocorrência de pandemia de Covid-19, assim aconselha-se que em futuros estudos, onde as circunstâncias mundiais sejam favoráveis e haja um maior período disponível para realização dos ensaios laboratoriais, mais pontos da rede coletora de esgoto sejam analisados, e, posteriormente, os tratamentos e as possibilidades de reciclagem dessa tipologia de material sejam testados para eleger, então, os mais adequados para cada tipo de material.

Referências bibliográficas

- Abreu, Alan; Alonso, Jorge; Melo, Lucas; Leles, Paulo; Santos, Gabriel. 2019: "Caracterização de biossólido e potencial de uso na produção de mudas de *Schinus Terebinthifolia* Rad-di". *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 24, 591-599. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019108265>.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA). 2020: *Atlas esgotos*. <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Consulta realizada el 26 de marzo de 2020.
- Alvares, Clayton; Stape, José Luiz; Sentelhas, Paulo Cesar; Gonçalves, José Leonardo; Sparovek, Gerd. 2013: "Mapa de classificação climática de Köppen para o Brasil". *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 717. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- Alves, Paulo; Albuquerque, Hermann; Sampaio, Reginaldo; Zuba Júnio, Geraldo; Fernandes, Luiz; Rodrigues, Mércio. 2021: "Concentrações de metais pesados e sódio em solo e culturas de girassol adubadas com lodo de esgoto". *Investigação, Sociedade e Desenvolvimento*, 10(12), e436101220734. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20734>.
- Arulrajah, Arul; Disfani, Mahdi Miri; Imteaz, Monzur Alam; Suthagaran, Sutha. 2011: "Select chemical and engineering properties of wastewater biosolids". *Waste Management*, 31(12), 2522-2526. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.07.014>.
- Ashley, Richard; Crabtree, Bob; Fraser, Alasdair; Hvitved-Jacobsen, Thorkild. 2003: "Investigação europeia sobre sedimentos de esgotos e poluentes e processos associados". *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(4), 267-275. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:4\(267\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:4(267)).
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2016a: NBR 7181,2016. "Solo: Análise granulométrica". Rio de Janeiro (Brasil), ABNT, 13.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2016b: NBR 6457,2016. "Amostras de solo-Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização". Rio de Janeiro (Brasil), ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2016c: NBR 6458 "Determinação da Massa Específica dos grãos". Rio de Janeiro (Brasil), ABNT.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 2016d: NBR 7180,2016. "Solo-Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro (Brasil), Método de Ensaio.
- Azevedo, Lariza. 2014: "Aproveitamento dos subprodutos gerados nas estações de tratamento de esgoto de Juiz de Fora". Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora (Brasil). [TFC-LARIZA-DOS-SANTOS-AZEVEDO.pdf \(ufjf.br\)](https://repositorio.ufjf.br/bitstream/handle/2011-6/10000/1/TFC-LARIZA-DOS-SANTOS-AZEVEDO.pdf).
- Ballén, Jeimmy Cárdenas; Guzman, Carlos André; Abello, André; Pulido, Amélia Perez. 2016: "Sediments settled in stormwater sewer systems: assessment of possible uses through quality analysis. Pollution des rejets urbains de temps de pluie/Pollution of wet weather flow". NOVATECH. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03322051/document>.
- Bong, Charles; Lau, Tze; AB. Ghani, Aminuddin. 2014: "Sediment size and deposition characteristics in Malaysian urban concrete drains – a case study of Kuching City". *Urban Water Journal*, 11(1), 74-89. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2012.750371>.
- Borges, Nayara. 2016: "Potencialidade da utilização da areia removida em desarenadores de estação de tratamento de esgoto na construção civil, como material alternativo à areia comercial comum". *Revista DAE*, 64, 64-79. <https://doi.org/10.4322/dae.2016.006>.
- Brasil. 2011: "Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011". <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0430-130511.PDF>.
- Cardenas, Jeimmy; Perez, Amelia; Pêna-Guzmán, Carlos; Torres, Andres; Fonseca, Armando; Cabeza, Ivan. 2017: "Determinação de características físico-químicas de sólidos de sistemas de drenagem urbana para uso potencial: estudo de caso em Bogotá-Colômbia". *Transações de Engenharia Química*, 57, 577-582. <https://doi.org/10.3303/CET1757097>.
- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB. 2019: "Relatório de Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo. Apêndice E". 10. <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wpcontent/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-variaveis.pdf>.
- Fernandez, Lucas; Mikowski, Paula; Macioski, Gustavo; Nagalli, André; Freire, Flavio. 2018: "Avaliação da incorporação do lodo de Estação de Tratamento de Água em peças de concreto intertravado". *Matéria*, Rio de Janeiro (Brasil), 23. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180003.0490>.

- Fernández, Lía; Monzón, Juan; Gonzáles, Javier.** 2009: "Caracterización de sedimento acumulado en alcantarillas. Caso: Ciudad de Santander en España". *Anales Científicos*. Universidad Nacional Agraria La Molina, 145-157. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:189584629>.
- Freire, Marcela.** 2018: "Reutilização de resíduo proveniente da caixa de areia de estações de tratamento de esgoto na construção civil: estudo de caso". Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. ÍNDICE (ufrn.br).
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).** 2020: "Panorama das Cidades". <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/belem/panorama>. Consulta realizada el 02 de agosto de 2020.
- Jiménez, Beatriz; Méndez, Jorge Maté; Barrios, José Antonio; Salgado, Gilmar; Sheinbaum-Pardo, Claudia.** 2004: "Characterization and evaluation of potential reuse options for wastewater sludge and combined sewer system sediments in Mexico". *Water Science and Technology*, 49(10), 171-178. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0636>.
- Maas, Greyce; Weber, Oscarlina; Scaramuzza, Walcylene; Maas, Kelly; Mognon, Francelo.** 2014: "Metais pesados em um latossolo vermelho em função de doses de lodo de esgoto". *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia*, 11(1). <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=989>
- Magalhães, Geizibel; Fantin-Cruz, Ibraim; Zeilhofer, Peter; Dorés, Eliana.** 2016: "Metais potencialmente tóxicos em rios a montante do Pantanal Norte". *Revista Ambiente & Água*, 11, 833-850. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1827>.
- Miguel, Paulo Sérgio; Gomes, Fernando; Rocha, Wadson; Martins, Carlos; Carvalho, Caio; Oliveira, André.** 2010: "Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos". *Revista Ces*, 24(1), 13-29. <https://seer.uniaca-demia.edu.br/index.php/cesRevista/article/view/661/519>.
- Moreira, Fernanda; Ferreira, Giovani; Dias, Luanna; Vitorino, Maria Isabel.** 2019: "Variability temporal space of precipitation in the City of Belém-PA and its relation with the incidence of Leptospirosis". *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(1), 071-080. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v12.1.p071-080>.
- Paixão, Thaiany; Mesquita, Igor; Costa, Marilene; Carneiro, Carla; Gonçalves, Carolina; Botelho, Matheus; Furtado, Layse; Batista, Vanessa; Lima, Adonai; Morales, Gundisalvo.** 2020: "Multitemporalidade do uso e cobertura da terra utilizando a plataforma Google Earth: estudo de caso do Centro Sócio Educacional Fazendinha Esperança, Marituba, Pará". *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(6), 2874-2884. <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2874-2884>.
- Santos, Gabriel Augusto; Nogueira, Ricardo José.** 2020: "Novos espaços habitacionais e tipologias de transporte: Notas relacionadas a casos em Ananindeua e Marituba, Pará". *Humanidades & Inovação*, 7(16), 392-404. <https://revista.unisins.br/index.php/humanidadesinovacao/article/view/2358>.
- Silva, Warley; Poague, Kasandra Isabella Helouise; Nunes, Juliana.** 2018: "Estudo de viabilidade econômica do aproveitamento comercial de areia retida no tratamento preliminar da ETE Onça-MG". *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 4(4), 445-449. <https://doi.org/10.18540/jcecvl4iss4pp0445-0449>.
- Sweya, Lakuba; Mgana, Shaaban.** 2020: "Desinfecção de Lodo Fecal Usando Aquecimento Solar Térmico: Opção de Gerenciamento de Lodo para Países em Desenvolvimento". *Revista de Engenharia Ambiental*, 146, 12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001828](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001828).
- Wang, Jianlong; Qin, Meina; Tu, Nannan; Li, Baitong.** 2021: "Particle size distribution and pollutant dissolution characteristics of road-deposited sediment in different land-use districts: a case study of Beijing". *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 38497-38500. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-021-13426-3>.
- Yesil, Hatice; Molaey, Rahim; Calli, Baris; Tugtas, Adile Evren.** 2021: "Removal and recovery of heavy metals from sewage sludge via three-stage integrated process". *Chemosphere*, 280, 130650. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130650>.