

POLUENTES AMBIENTAIS:  
ANÁLISES, MONITORAMENTO E  
REMEDIAÇÃO

Eduarda Medran Rangel  
Daiana Kaster Garcez  
Louise Vargas Ribeiro  
(Orgs.)



POLUENTES AMBIENTAIS:  
ANÁLISES, MONITORAMENTO E  
REMEDIAÇÃO

Eduarda Medran Rangel  
Daiana Kaster Garcez  
Louise Vargas Ribeiro  
(Orgs.)



EDUARDA MEDRAN RANGEL  
DAIANA KASTER GARCEZ  
LOUISE VARGAS RIBEIRO

(Orgs.)

**POLUENTES AMBIENTAIS:  
ANÁLISES, MONITORAMENTO E REMEDIAÇÃO**

1ª Edição

Quipá Editora  
2021

Copyright © dos autores e autoras. Todos os direitos reservados.

Esta coletânea é publicada em acesso aberto. O conteúdo dos capítulos, os dados apresentados, bem como a revisão ortográfica e gramatical são de responsabilidade de seus autores, detentores de todos os Direitos Autorais, que permitem o download e o compartilhamento, com a devida atribuição de crédito, mas sem que seja possível alterar a obra, de nenhuma forma, ou utilizá-la para fins comerciais.

Revisão e normalização: os autores e autoras

Preparação e diagramação: Quipá Editora

### **Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

---

P779 Poluentes ambientais : análises, monitoramento e remediação / Organizado por Eduarda Medran Rangel, Daiana Kaster Garcez e Louise Vargas Ribeiro. — Iguatu, CE : Quipá Editora, 2021.

112 p. : il.

ISBN 978-65-89973-33-1  
DOI 10.36599/qped-ed1.091

1. Meio ambiente – Poluição. I. Rangel, Eduarda Medran. II. Garcez, Daiana Kaster. III. Ribeiro, Louise Vargas. IV. Título.

CDD 577.5

---

Elaborada por Rosana de Vasconcelos Sousa — CRB-3/1409

---

Obra publicada em setembro de 2021.

## CONSELHO EDITORIAL

*Me. Adriano Monteiro de Oliveira, Quipá Editora*

*Dra. Aida Figueiredo, Univeridade de Aveiro (UA)*

*Dra. Alana Maria Cerqueira de Oliveira, Instituto Federal do Acre*

*Me. Ana Paula Brandão Souto, HUWC / Universidade Federal do Ceará (UFC).*

*Me. Ana Nery de Castro Feitosa, DHUWC/ Universidade Federal do Ceará (UFC).*

*Dra. Anna Ariane Araújo de Lavor, Instituto Federal do Ceará (IFCE), Campus Iguatu.*

*Dra. Anny Kariny Feitosa, Instituto Federal do Ceará (IFCE)*

*Me. Antoniele Silvana de Melo Souza, Secretaria Estadual de Pernambuco*

*Dr. Carlos Wagner Oliveira, Universidade Federal do Cariri (UFCA)*

*Me. Cristiane Ferreira Lima Secretaria de Administração Penitenciária do Ceará , SAP/CE*

*Dra. Elaine Carvalho de Lima, Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM)*

*Dra. Érica P. C. de Lima Machado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)*

*Dra. Fernanda Pereira Martins, Instituto Federal de Goiás (IFG), Campus Valparaíso*

*Dra. Francione Charapa Alves, Universidade Federal do Cariri (UFCA)*

*Me. Francisco Odécio Sales, Instituto Federal do Ceará (IFCE), Campus Crateús*

*Dra. Harine Matos Maciel, Instituto Federal do Ceará (IFCE), Campus Baturité*

*Dra. Hidelano Delanusse Theodoro, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG)*

*Dr. Iarê Lucas Andrade, Universidade Regional do Cariri (URCA)*

*Dra. Jane Márcia Mazzarino, Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES)*

*Dr. Jarles Lopes de Medeiros, Universidade Estadual do Ceará (UECE)*

*Dr. José Luiz Esteves, BSSP Escola de Negócios / MULTIVIX – Pós-Graduação*

*Me. Josete Malheiro Tavares, Secretaria Municipal de Saúde, Eusébio - CE*

*Dra. Júlia Elisabete Barden, Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES)*

*Dra. Keyle Sâmara Ferreira de Souza, Secretaria de Educação (SEDUC/CE)*

*Dr. Marcelino Gevilbergue Viana, Universidade Regional do Cariri (URCA)*

*Dr. Marcos Pereira dos Santos, Faculdade Rachel de Queiroz (FAQ) - Ponta Grossa/PR*

*Me. Maria Antunízia Gomes, Instituto Federal do Ceará (IFCE)*

*Dra. Maria Eneida Feitosa, Universidade Regional do Cariri (URCA)*

*Dra. Maria Iracema Pinho de Souza, Universidade Federal do Cariri (UFCA)*

*Me. Marília Maia Moreira, Secretaria Municipal de Educação de Fortaleza, Ceará*

*Me. Mira Raya Paula de Lima, Instituto Federal do Ceará (IFCE)*

*Dra. Mônica Maria Siqueira Damasceno, Instituto Federal do Ceará (IFCE)*

*Dra. Patricia Verônica Nunes Carvalho Sobral de Souza, TCE-SE/ Universidade Tiradentes*

*Esp. Ricardo Damasceno de Oliveira, Universidade Regional do Cariri*

*Me. Sergio Ricardo Quiroga, Periodista, ICAES - Catedra Francesco Fattorello, Argentina*

*Dra. Sislândia Maria Ferreira Brito, Universidade Regional do Cariri (URCA)*

*Dr. Thiago Barbosa Soares, Universidade Federal do Tocantins (UFT)*

## APRESENTAÇÃO

Esta obra nos remete, através dos seus diferentes capítulos, a formas de monitoramento ambiental da poluição, formas de remediação, de minimização ou até mesmo a mitigação dos problemas ambientais.

Ao longo de seus oito capítulos, vislumbram-se estudos abordando: a utilização de plantas para atração de polinizadores em ambiente urbano, como medida de remediação ambiental; a caracterização de resíduos minerais para a incorporação na produção de blocos cerâmicos, assim como seu aproveitamento e aplicação como matéria-prima da cerâmica vermelha; a concentração e origem de hidrocarbonetos alifáticos no sedimento superficial da barra do saco do laranjal, bem como a especificação química de elementos; o monitoramento de mananciais superficiais, por meio do sensoriamento remoto; a análise de impactos ambientais de efluentes hospitalares; e, por fim, a percepção de alunos ingressantes no curso de Ciências Biológicas sobre os Resíduos Sólidos Domiciliares Especiais.

Com a publicação desta obra, espera-se oferecer aos leitores um aporte de estudos científicos que seja capaz de servir como material de apoio para futuras pesquisas.

# SUMÁRIO

## APRESENTAÇÃO

### **CAPÍTULO 1** **10**

UTILIZAÇÃO DE PLANTAS DE INTERESSE PARA ATRAÇÃO DE POLINIZADORES NO AMBIENTE URBANO COMO MEDIDA DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL

*Eduarda Medran Rangel*

*Daiana Kaster Garcez*

*Louise Vargas Ribeiro*

### **CAPÍTULO 2** **20**

CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO RESÍDUO MINERAL DE SILVINITA PARA A INCORPORAÇÃO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS

*Mayka da Silva Oliveira Araujo*

*Delaine Mercedes Oliveira*

*Jander Lopes Fonseca*

*Talita Fernanda Carvalho Gentil*

### **CAPÍTULO 3** **30**

APROVEITAMENTO E APLICAÇÃO DO RESÍDUO MINERAL DE ARGILITO DA SERRA DO TOMBADOR, COMO MATÉRIA-PRIMA PARA CERÂMICA VERMELHA

*Haila Victoria Silva Batista*

*Carla Camille da Cruz Antunes*

*Tercio Graciano Machado*

*Talita Fernanda Carvalho Gentil*

## **CAPÍTULO 4**

**40**

ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO E ORIGEM DE HIDROCARBONETOS ALIFÁTICOS NO SEDIMENTO SUPERFICIAL DA BARRA DO SACO DO LARANJAL - LAGUNA DOS PATOS (PELOTAS – RS – BRASIL)

*Fabiana Priebe Holz*

*Eduarda Medran Rangel*

*Beatriz Pedrotti Fabião*

*Pedro José Sanches Filho*

## **CAPÍTULO 5**

**54**

APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO NO MONITORAMENTO DOS MANANCIAS SUPERFICIAIS

*Bruna Moreira Sell*

*Emanuele Baifus Manke*

*Priscila dos Santos Priebe*

## **CAPÍTULO 6**

**66**

ESPECIAÇÃO QUÍMICA DE ELEMENTOS TRAÇO NO SEDIMENTO DA LAGUNA DOS PATOS – SACO DO LARANJAL – PELOTAS/RS

*Natanael Rodrigo Xavier Pires*

*Eduarda Medran Rangel*

*Pedro José Sanches Filho*

## **CAPÍTULO 7**

**79**

EFLUENTES HOSPITALARES: IMPACTOS AMBIENTAIS E TRATAMENTOS

*Matheus Hirdes Antunes*

*Daniel Ricardo Arsand*

**CAPÍTULO 8**

**92**

VISÃO DOS ALUNOS INGRESSANTES NO CURSO DE CIÊNCIAS  
BIOLÓGICAS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES ESPECIAIS

*Fabiane Borba Bergmann*

*Hugo Leonardo da Cunha Amaral*

*Robledo Lima Gil*

**SOBRE OS ORGANIZADORES**

**106**

**SOBRE OS AUTORES**

**107**

**ÍNDICE REMISSIVO**

**112**

## CAPÍTULO 1

### UTILIZAÇÃO DE PLANTAS DE INTERESSE PARA ATRAÇÃO DE POLINIZADORES NO AMBIENTE URBANO COMO MEDIDA DE REMEDIAÇÃO AMBIENTAL

*Eduarda Medran Rangel*

*Daiana Kaster Garcez*

*Louise Vargas Ribeiro*

#### RESUMO

A polinização é um processo essencial na reprodução sexuada de plantas com sementes e através dos polinizadores ela torna-se um serviço ecossistêmico. No entanto, os polinizadores têm sofrido com declínios populacionais resultantes das ações antrópicas, sendo necessário estudos que visem a restauração ecológica das interações planta-polinizador. O objetivo desta pesquisa é indicar, através de um levantamento feito na literatura, quais as espécies de plantas são de interesse para o plantio urbano buscando atrair polinizadores e remediar os danos causados pelas ações antrópicas, uma vez que estes animais estão perdendo suas fontes de alimento devido à diminuição das áreas verdes nos espaços urbanos, podendo trazer prejuízos à manutenção da biodiversidade terrestre. Essa revisão ocorreu mediante uma pesquisa em diversas bases de dados científicos, através da seleção dos artigos que melhor se encaixavam ao tema. Como resultados, diversas espécies de plantas que atraem polinizadoras foram listadas neste trabalho, trazendo exemplos de plantas que são polinizadas por abelhas, vespas, borboletas, beija-flores e moscas-das-frutas, além de outros possíveis polinizações. O conhecimento das espécies de plantas de interesse para animais polinizadores é uma ferramenta importante para remediar os danos antrópicos através do seu plantio em canteiros, praças, parques, condomínios, avenidas, etc. Estas ações podem ser tomadas pelos órgãos públicos e pelas construtoras, contribuindo assim, para a conservação das espécies polinizadoras e das plantas.

**Palavras-chave:** Conservação das espécies. Polinização. Recuperação ambiental.

## INTRODUÇÃO

A urbanização desconfigura paisagens agrícolas e seminaturais, ameaçando a biodiversidade de vegetais e animais existentes, porém estratégias de planejamento e remediação no meio urbano podem ser desenvolvidas e implementadas visando a conservação dessas espécies e a redução da perda da biodiversidade (BENNETT; LOVELL, 2019; LOVELL; TAYLOR, 2013).

As complexas interações entre plantas e animais que visitam suas flores atraem o interesse dos pesquisadores há mais de dois séculos (GÓMEZ, 2002). Estima-se que entre 60 a 70% das plantas são polinizadas por agentes polinizadores. Os agentes que prestam esse serviço ambiental são principalmente insetos, aves e morcegos (ALVES-DOS-SANTOS, 2010). Eles visitam as flores em busca de recursos e durante as visitas transferem os grãos de pólen entre as flores co-específicas. Através dessa interação com as plantas, trazem benefícios para o ecossistema e também incremento na produção agrícola.

A polinização é um processo essencial na reprodução sexuada de plantas com sementes. A atuação dos polinizadores é um dos exemplos de serviços ecossistêmicos e demonstra a importância e o valor da conservação da biodiversidade, pois este é um serviço ambiental fundamental para o bem-estar humano (ALVES-DOS-SANTOS, 2010; COSTANZA *et al.*, 1997).

Os animais polinizadores diminuíram devido às cinco principais mudanças globais: mudança climática, alteração da paisagem, intensificação agrícola, espécies não nativas e disseminação de patógenos (GONZÁLEZ-VARO *et al.*, 2013). Esses declínios levam à preocupação com os efeitos concomitantes na produção de alimentos vegetais dependentes de polinizadores, que se tornaram cada vez mais importantes na dieta humana (AIZEN; HARDER, 2009).

Infelizmente a restauração ecológica das interações planta-polinizador tem recebido pouca atenção, apesar da polinização feita por animais sustentar a reprodução da maioria das plantas superiores (MENZ *et al.*, 2011).

Portanto, o objetivo desta pesquisa é indicar, através de um levantamento feito na literatura, quais as espécies de plantas são de interesse para o plantio urbano buscando atrair polinizadores e remediar os danos causados pelas ações antrópicas, uma vez que estes animais estão perdendo suas fontes de alimento devido à diminuição das áreas

verdes nos espaços urbanos, podendo trazer prejuízos à manutenção da biodiversidade terrestre.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Essa revisão ocorreu mediante uma pesquisa em diversas bases de dados científicos, como: Science Direct, Google Acadêmico, Scielo, entre outros. Para a busca digitou-se palavras-chave como: “espécies polinizadoras”, “polinizadores”, “pollinator flies”, “pollinator animals”, “pollinator insects” e “interação abelhas-plantas”. Após a pesquisa e a leitura do material, os artigos que melhor se encaixavam ao tema foram selecionados e a partir desses foi desenvolvida uma revisão narrativa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os insetos são seres vitais para biodiversidade terrestre, sustentando importantes serviços ecossistêmicos, como polinização, formação do solo e controle de espécies de pragas herbívoras (THEODOROU *et al.*, 2020)

As abelhas nativas são importantes no processo de polinização, mas há evidências cumulativas da sua redução populacional. Mudanças globais como perdas de habitat, invasões de espécies exóticas e mudanças climáticas têm sido apontadas como as principais causas do declínio dos polinizadores (GIANNINI *et al.*, 2012).

Um declínio na população de abelhas foi relatado em vários países na última década pela FAO (Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação) e o NAS (Academia Nacional de Ciências dos EUA), incluindo populações no Brasil (LUZ *et al.*, 2018).

Nesse sentido, uma espécie que pode ser utilizada para atrair abelhas é o trevo vermelho (*Trifolium pratense*). No estudo realizado por Theodorou *et al.* (2016), além de atrair abelhas o trevo vermelho atraiu também borboletas. Além de servir como alimento para as abelhas, o trevo vermelho é uma espécie que se adapta bem ao clima temperado, sendo indicada para complementar a dieta dos animais durante a estação fria do ano no sul do Brasil (MONTARDO *et al.*, 2003).

Uma opção de planta aquática que atrai abelhas e que pode ser utilizada em praças, parques e condomínios, é a *Nymphaea caerulea*. Kaeser, Ulguim e Menini Neto

(2017) observaram e comprovaram a atração/visitação de abelhas nessa espécie em Minas Gerais – Brasil.

Em um estudo de longa duração (1999 a 2008), Steiner *et al.* (2010) analisaram a fauna apícola e suas fontes alimentares através de coletas não-sistemáticas em Florianópolis, SC, sul do Brasil. Foram capturadas um total de 169 espécies de abelhas em 126 espécies de plantas melitófilas, isto é, plantas que atraem insetos himenópteros, em particular abelhas e vespas. Os autores evidenciaram a importância de plantas não-arbóreas nativas na manutenção de uma rica diversidade de abelhas, além de indicar espécies vegetais que podem ser utilizadas como espécies-alvo em levantamentos rápidos da apifauna subtropical no Brasil.

Estes autores forneceram uma lista de famílias e espécies de plantas na qual as espécies de abelhas foram coletadas. Mas vale destacar que muitas dessas plantas também atraem outros polinizadores, como beija-flores, vespas, borboletas e moscas-das-frutas, por exemplo. Dentro dessa lista, destacam-se várias espécies de interesse para o plantio urbano: a planta herbácea trepadeira corda-de-viola (*Ipomoea* sp.); a planta dormideira (*Mimosa pudica*); plantas da família Bromeliaceae conhecidas popularmente como bromélias (*Aechmea caudata* e *Neoregelia laevis*); o margaridão ou girassol-mexicano (*Tithonia diversifolia*); o gengibre-azul (*Dichorisandra thyrsiflora*); a planta arbórea farinha-seca (*Albizia* sp.) utilizada como planta ornamental e no reflorestamento; o maricá (*Mimosa bimucronata*) que é muito utilizado para cultivo como arbusto ou cerca viva; o arbusto conhecido popularmente como manto-de-rei (*Thunbergia erecta*); a trepadeira ornamental tumbérgia-azul (*Thunbergia grandiflora*); a aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius*), na qual seu porte médio e a frutificação ornamental, aliados à rusticidade da planta, fazem com que ela seja uma excelente escolha para o paisagismo; a trepadeira-mexicana (*Senecio confusus*); o beijinho (*Impatiens walleriana*), planta muito cultivada como ornamental; a begônia (*Begonia* sp.), muito utilizada na ornamentação; a trepadeira sete-léguas (*Podranea ricasoliana*); o cacto flor de maio (*Schlumbergera truncata*) e o cacto *Opuntia monacantha* (STEINER *et al.*, 2010).

Destacam-se também as azaléias (*Rhododendron simsii*); a coroa-de-cristo (*Euphorbia milii*) muito utilizada como planta ornamental; o quebra-foice (*Calliandra brevipes*), espécie de arbusto muito utilizada na ornamentação, além de outras espécies da família Fabaceae; alegria-dos-jardins (*Salvia splendens*); açucena-da-água (*Crinum erubescens*), que produz no verão flores muito perfumadas de cor branca e vinho; *Habranthus*, gênero com forte apelo ornamental; a extremosa (*Lagerstroemia* sp.), muito

utilizada na arborização; o malvaisco ou hibisco-colibri (*Malvaviscus arboreus*); as espécies do gênero *Calathea*; a unha de gato (*Ficus pumila*) utilizada para cobrir muros, colunas e paredes; as plantas frutíferas e ornamentais pitangueira (*Eugenia uniflora*), araçá (*Psidium cattleianum*) e goiabeira (*Psidium guajava*); a planta trepadeira *Passiflora edulis*, que produz o maracujá; as rosas (*Rosa* sp.) também são muito utilizadas como plantas ornamentais e atraem muitos polinizadores; a estrela-do-egito (*Pentas lanceolata*); a *Brugmansia suaveolens*, popularmente conhecida como trombeteira; a flor-de-chagas *Tropaeolum majus*; a lágrima-de-cristo (*Clerodendrum* sp.) e, por fim, o cambará *Lantana camara* (STEINER *et al.*, 2010).

Na pesquisa de Rollings e Goulson (2019), os autores relatam a visitação de insetos a lotes de metros quadrados de 111 cultivares de plantas ornamentais diferentes em um local no centro do Reino Unido. Os dados foram coletados ao longo de 5 anos e abrangem mais de 9.000 observações de insetos, que foram identificados por espécies (para abelhas e zangões) ou como 'abelhas solitárias', *Syrphidae*, *Lepidoptera* e 'outros'. No geral, as plantas mais visitadas foram *Calamintha nepeta*, *Helenium autumnale* e *Geranium rozanne*. No entanto, os padrões de visitação foram bastante diferentes para todos os táxon de insetos examinados. Por exemplo, diferentes espécies de abelhas de língua curta mostraram pouca sobreposição em seus cultivares de plantas preferidos. Curiosamente, cultivares de plantas muito semelhantes frequentemente atraíam diferentes comunidades de insetos; por exemplo, 72% dos visitantes do *Aster novi belgii* eram abelhas ou zangões, enquanto o *Anthemis tinctoria*, que também tem flores parecidas com margaridas, não atraiu uma única abelha ou zangão, mas era popular entre as abelhas solitárias, hoverflies e outros polinizadores. Alguns cultivares de plantas, como *Eryngium planum* e *Myosotis arvensis* foram atraentes para uma ampla gama de insetos, enquanto outros atraíam apenas algumas espécies, mas às vezes em grande número, como *Veronicastrum virginicum* e *Helenium autumnale*, ambos visitados predominantemente por abelhas. É claro que ainda não entendemos completamente quais fatores impulsionam as preferências das flores dos insetos.

As aves também desempenham um papel importante nos serviços ecossistêmicos de polinização de plantas não cultivadas e até mesmo cultivadas (WHELAN *et al.*, 2008). Os beija-flores são os mais importantes polinizadores dentre os vertebrados nos Neotrópicos (BAWA, 1990). Mendonça e Anjos (2005) estudaram os beija-flores e seus recursos florais em uma área urbana no sul do Brasil e as plantas que receberam visitas podem ser consideradas espécies potenciais para serem utilizadas na remediação

ambiental, sendo estas a sanquésia (*Sanchezia nobilis*), a tumbérgia-azul (*Thunbergia grandiflora*), a árvore esponja-de-ouro (*Stiffia chrysantha*), o cipó-de-são-joão (*Pyrostegia venusta*), a planta mijinho (*Spathodea campanulata*), os ipês (gêneros *Tabebuia* e *Tecoma*), o mamoeiro (*Carica papaya*), a suculenta *Kalanchoe tubiflora*, a poinsétia (*Euphorbia pulcherrima*), o cedro (*Acrocarpus* sp.), a pata-de-vaca (*Bauhinia variegata*), a corticeira (*Erythrina speciosa*), a dracena (*Dracaena fragrans*), o hibisco (*Hibiscus rosacincensis*), o malvavisco (*Malvaviscus arboreus*), o cinamomo (*Melia azedarach*), a sempre-lustrosa (*Bougainvillea spectabilis*), a árvore da ameixa-amarela (*Eriobotrya japonica*) e a laranjeira (*Citrus* sp.). No entanto, vale destacar que outros vertebrados (aves e morcegos), principalmente nos trópicos, também são importantes para as flores (ROCCA; SAZIMA, 2010).

Dentre os insetos sensíveis à perturbação antrópica também se encontram as borboletas e mariposas (Lepidópteros). Segundo UEHARA-PRADO e RIBEIRO (2012) estes organismos são de fácil identificação e amostragem. No entanto, estudos ecológicos com estes insetos ainda são escassos.

Além dos recursos alimentares, outros fatores como sazonalidade e temperatura influenciam a permanência das borboletas nos habitats (SOARES; OLIVEIRA; SILVA, 2012). Silva e Hingst-Zaher (2017) destacam que flores grandes e coloridas são mais atrativas pois facilitam o pouso e auxiliam para a aderência de pólen nas pernas destes organismos, enquanto os mesmos se alimentam de néctar.

Em estudo em um parque urbano em Belo Horizonte MG, Soares; Oliveira; Silva (2012) encontraram espécies de borboletas nas seguintes famílias de plantas fornecedoras de néctar: **Apocynaceae:** *Asclepias curassavica* L. **Asteraceae:** *Cosmos sulphureus* Cav. *Emilia sonchifolia* (L.) DC. *Sanvitalia procumbens* Lam. *Unxia suffruticosa* (Baker) Stuessy *Zinnia elegans* Jacq. **Balsaminaceae** *Impatiens walleriana* Hook. f. **Lamiaceae:** *Salvia splendens* Sellow ex Wied-Neuw. **Malvaceae:** *Hibiscus* sp. **Melastomataceae:** *Heterocentron elegans* (Schltdl.) Kuntze **Rubiaceae:** *Pentas lanceolata* (Forssk.) Deflers **Verbenaceae:** *Duranta* sp. *Lantana camara* L., sendo esta última espécie atrativa para 14 espécies diferentes de lepidópteros. Cézar (2016) verificou que o sucesso reprodutivo de *L. camara* L. é superior quando ocorre visitas de borboletas. Também afirmou que a eficiência de polinização das borboletas é dada pela taxa de visitas e não pelo tamanho de sua espirotromba (aparelho bucal sugador dos lepidópteros).

O estudo de Sakai (2002) apresenta os sistemas de reprodução e polinização de *Aristolochia maxima* e *A. inflata* em uma floresta tropical sazonal do Panamá. *Aristolochia* é

o gênero mais diverso de Aristolochiaceae, com ~120 espécies distribuídas pelos trópicos e subtropicais. Todas as espécies de *Aristolochia* estudadas até agora pelos autores são polinizadas por moscas saprófagas de diferentes famílias, que são presumivelmente enganadas pelo odor floral. Flores de muitas espécies possuem mecanismos de captura e liberação. As flores atraem e prendem os polinizadores durante o primeiro dia de floração da fase feminina e os liberam após a deiscência das anteras. Os sistemas de polinização de *A. maxima* e *A. inflata* são diferentes daqueles de outras *Aristolochia* sem mecanismos de armadilha. Além disso, os polinizadores ovipositam nas flores e suas larvas crescem nas flores caídas e em decomposição do solo. Portanto, as plantas têm uma relação mutualística com seus polinizadores. Auto-compatíveis *A. inflata* é polinizada por *Megaselia sakaiae* (forídeo, Diptera). O polinizador pode ser especializado em flores de *Aristolochia*, que é o único substrato para o desenvolvimento larval. Por outro lado, *A. maxima* auto-incompatível é polinizada por *Drosophila spp.* (Drosophilidae, Diptera), que utilizam flores de *Aristolochia* como criadouro apenas ocasionalmente. Este mutualismo de polinização pode ter evoluído de polinização por engano.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento urbano está causando vários danos à biodiversidade desses locais, principalmente com a retirada de plantas que são visitadas por animais polinizadores. Uma forma de remediar estes danos é através do plantio de espécies de interesse para os animais polinizadores em canteiros, praças, parques, condomínios, avenidas, etc. Estas ações podem ser tomadas pelos órgãos públicos e pelas construtoras, uma vez que o paisagismo é algo presente nestes locais. Estas medidas além de cumprir o papel de paisagismo poderão atrair os polinizadores que precisam destas plantas, assim conservando as espécies, contribuindo para a polinização e remediando os danos causados ao longo dos anos por ação do homem.

## REFERÊNCIAS

AIZEN, M. A.; HARDER, L. D. The Global Stock of Domesticated Honey Bees Is Growing Slower Than Agricultural Demand for Pollination. **Curr. Biol.**, v. 19, n. 11, p. 915-918, jun. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.03.071>

ALVES-DOS-SANTOS, Isabel. Conservação dos polinizadores. **Oecol. Aust.**, v. 14, n. 1, p. 10-12, 2010.

BAWA, K. S. Plant-pollinator interactions in Tropical Rain Forests. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, v. 21, p. 399-422, nov. 1990. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.21.110190.002151>

BENNETT, A. B.; LOVELL, S. Landscape and local site variables differentially influence pollinators and pollination services in urban agricultural sites. **Plos One**, v. 14, n. 2, p. 1-10, fev. 2019. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0212034>

CÉZAR, K. F. S. **Interação entre borboletas (Insecta: Lepidoptera: Hesperioidea e Papilionoidea) e flores na polinização de *Lantana camara* Linnaeus (Verbenaceae) no período de maior e menor precipitação em um fragmento florestal urbano amazônico**. 2016. 90 p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - INPA, Manaus, 2016.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, v. 387, n. 6230, p. 253-260, mai. 1997. <https://doi.org/10.1038/387253a0>

GIANNINI, T. C.; ACOSTA, A. L.; GARÓFALO, C. A.; SARAIVA, A. M.; ALVES-DOS-SANTOS, I.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. Pollination services at risk: bee habitats will decrease owing to climate change in brazil. **Ecol Model**, v. 244, p. 127-131, out. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.06.035>

GÓMEZ, J. M. Generalización en las interacciones entre plantas y polinizadores. **Rev. Chil. de Hist. Nat.**, v. 75, n. 1, p. 1, mar. 2002. <https://doi.org/10.4067/s0716-078x2002000100010>

GONZÁLEZ-VARO, J. P.; BIESMEIJER, J. C.; BOMMARCO, R.; POTTS, S. G.; SCHWEIGER, O.; SMITH, H. G.; STEFFAN-DEWENTER, I.; SZENTGYÖRGYI, H.; WOYCIECHOWSKI, M.; VILÀ, M. Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. **Trends Ecol. Evol.**, v. 28, n. 9, p. 524-530, set. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.05.008>

KAESER, S. S.; ULGUIM, P. S. B.; MENINI NETO, L. Ciclo de vida de *Nymphaea caerulea* savigny (Nymphaeaceae) em ambiente artificial com ênfase na fenofase reprodutiva. **CES REVISTA**, v. 1, n. 1, p. 26-46, jan./jul. 2017.

LOVELL, S. T.; TAYLOR, J. R. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. **Landsc. Ecol.**, v. 28, n. 8, p. 1447-1463, jul. 2013. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9912-y>

- LUZ, C. F. P.; GUIMARÃES-CESTARO, L.; SERRÃO, J. E.; MESSAGE, D.; MARTINS, M. F.; ALVES, M. L. T. M. F.; SEIJO-COELLO, M. C.; TEIXEIRA, É. W. Using palynological evidence from royal jelly to mediate the spread of *Paenibacillus* larvae in Brazil. **Hoehnea**, v. 45, n. 3, p. 512-539, jul./ago. 2018. <https://doi.org/10.1590/2236-8906-45/2018>
- MENDONÇA, L. B.; ANJOS, L. Beija-flores (Aves, Trochilidae) e seus recursos florais em uma área urbana do Sul do Brasil. **Rev. Bras. Zool.**, v. 22, n. 1, p. 51-59, 2005.
- MENZ, M. H. M.; PHILLIPS, R. D.; WINFREE, R.; KREMEN, C.; AIZEN, M. A.; JOHNSON, S. D.; DIXON, K. W. Reconnecting plants and pollinators: challenges in the restoration of pollination mutualisms. **Trends Plant Sci**, v. 16, n. 1, p. 4-12, jan. 2011. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2010.09.006>
- MONTARDO, D. P.; DALL'AGNOL, M.; CRUSIUS, A. F.; PAIM, N. R. Análise de trilha para rendimento de sementes em trevo vermelho (*Trifolium pratense* L.). **Rev. Bras. de Zootec.**, v. 32, n. 5, p. 1076-1082, out. 2003. <httpS://doi.org/10.1590/s1516-35982003000500007>
- ROCCA, M. A.; SAZIMA, M. Beyond hummingbird-flowers: the other side of ornithophily in the Neotropics. **Oecol. Aust.**, v. 14, n. 1, p. 67-99, mai. 2010. <https://foir.org/10.4257/oeco.2010.1401.03>
- ROLLINGS, R.; GOULSON, D. Quantifying the attractiveness of garden flowers for pollinators. **J. Insect Conserv.**, v. 23, n. 5-6, p. 803-817, set. 2019. <https://doi.org/10.1007/s10841-019-00177-3>
- SAKAI, S. *Aristolochia* spp. (Aristolochiaceae) pollinated by flies breeding on decomposing flowers in Panama. **Am. J. Bot.**, v. 89, n. 3, p. 527-534, mar. 2002. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.3.527>
- SILVA, A. V.; HINGST-ZAHER, E. Pequeno manual para atrair borboletas para o seu jardim. **Instituto Butantan e Museu Biológico**, São Paulo, 2017. Disponível em: <https://repositorio.butantan.gov.br/handle/butantan/3360>. Acesso em: 19 jul. 2021.
- SOARES, G. R.; OLIVEIRA, A. A. P.; SILVA, A. R. M. Borboletas (Lepidoptera: Papilionoidea e Hesperioidea) de um parque urbano em Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. **Biota Neotrop.**, v. 12, n. 4, p. 209-217, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1676-06032012000400022>
- STEINER, J.; ZILLIKENS, A.; KAMKE, R.; FEJA, E. P.; FALKENBERG, D. B. Bees and melittophilous plants of secondary atlantic forest habitats at Santa Catarina island, southern Brazil. **Oecol. Aust.**, v. 14, n. 1, p. 16-39, mar. 2010. <https://doi.org/10.4257/oeco.2010.1401.01>

THEODOROU, P.; ALBIG, K.; RADZEVIČIŲTĖ, R.; SETTELE, J.; SCHWEIGER, O.; MURRAY, T. E.; PAXTON, R. J. The structure of flower visitor networks in relation to pollination across an agricultural to urban gradient. **Funct. Ecol.**, v. 31, n. 4, p. 838-847, dez. 2016. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12803>

THEODOROU, P.; RADZEVIČIŲTĖ, R.; LENTENDU, G.; KAHNT, B.; HUSEMANN, M.; BLEIDORN, C.; SETTELE, J.; SCHWEIGER, O.; GROSSE, I.; WUBET, T. Urban areas as hotspots for bees and pollination but not a panacea for all insects. **Nat. Commun.**, v. 11, n. 1, p. 1-10, jan. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-14496-6>

UEHARA-PRADO, M.; RIBEIRO, D. B. Borboletas em Floresta Atlântica: métodos de amostragem e inventário de espécies na Serra do Itapeti. *In*: MORINI, M. S. C; MIRANDA, V. F. O. (org.). **Serra do Itapeti: aspectos históricos, sociais e naturalísticos**. Bauru: Canal6, 2012. Cap. 12, p. 167-186.

WHELAN, C. J.; WENNY, D. G.; MARQUIS, R. J. Ecosystem Services Provided by Birds. **Ann. N. Y. Acad. Sci.**, v. 1134, p. 25-60, 2008.

## CAPÍTULO 2

### CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO RESÍDUO MINERAL DE SILVINITA PARA A INCORPORAÇÃO NA PRODUÇÃO DE BLOCOS CERÂMICOS

*Mayka da Silva Oliveira Araujo*

*Delaine Mercedes Oliveira*

*Jander Lopes Fonseca*

*Talita Fernanda Carvalho Gentil*

#### RESUMO

Esta pesquisa consiste em um ensaio experimental, que busca demonstrar os estudos do aproveitamento de resíduos mineral de silvinita da região nordeste do Estado de Sergipe, descoberto através das rochas carnalíticas. Nesta pesquisa, utilizamos o resíduo mineral da silvinita na incorporação de massa cerâmica em substituição as fontes de potássio utilizadas, foram preparados cinco grupos de amostras com 5, 10, 15, e 20% de resíduo mineral e um grupo com a massa argilosa padrão. Essas amostras foram preparadas e compactadas em uma prensa uniaxial com pressão de 3 Mpa, em seguida identificadas e colocadas em estufa por 24 horas com temperatura de secagem de 110°C, e após, foram queimadas a temperaturas de 850°C, 900°C, 950°C e 1000°C durante 60 minutos com taxa de aquecimento de 10°C/min. Posteriormente a queima, foram realizados ensaios tecnológicos de Absorção de água – AA, Porosidade Aparente – PA, Retração Linear - RL e Tensão de Ruptura em Três pontos. Com os resultados obtidos, observou-se que é interessante a utilização do resíduo mineral de silvinita em massa cerâmica para a produção de blocos cerâmicos, em substituição ao feldspato.

**Palavras-chave:** Blocos Cerâmicos. Resíduos Salinos. Ensaio Tecnológicos.

#### INTRODUÇÃO

A silvinita produzida na região do nordeste do Estado de Sergipe foi descoberta através das rochas carnalíticas, nas perfurações de sal-gema desenvolvidas pela empresa Indústrias Brasileiras Alcalinas S/A –IBASA, no município de Nossa Senhora do Socorro

(DNPM, 2004). A Silvinita apresenta-se como um minério com grande potencial para o fornecimento dos cloretos de sódio, potássio e magnésio, para a indústria cerâmica e agroindústria, devido aos teores desse elemento em sua composição. Este fato ficou comprovado na caracterização geoquímica realizada nesta pesquisa e é corroborada por levantamentos feitos em estudos pretéritos (DNPM, 2009).

Destaca-se que o mineral silvinita apresenta altos teores de potássio, e, conforme propõem Nascimento & Lapido-Loureiro (2004), o potássio, é um dos dez elementos mais abundantes na crosta terrestre, ocorre na natureza somente sob a forma de compostos. Além dos típicos minerais de minério formados por cloretos e sulfatos, o potássio está presente em numerosos outros: com teores acima de 10%, em uma centena de minerais e, em muitos mais com valores entre 2% e 10%. No decorrer do tempo geológico o intemperismo provoca a sua alteração química, gerando compostos de potássio solúveis que são transportados pelos rios para o mar e/ ou depositados em bacias fechadas ou interiores.

Conforme é divulgado pelo CETEM (2005), os minérios potássicos são beneficiados em três principais circuitos de operação: i) dissolução em meio aquoso e cristalização; ii) flotação e iii) separação eletrostática. O processo de dissolução/cristalização é um dos mais antigos enquanto que o processo de flotação de sais de potássio foi introduzido nos Estados Unidos em 1918. A separação eletrostática foi inicialmente utilizada em larga escala nas usinas da Alemanha, para separação de minerais de minério complexo.

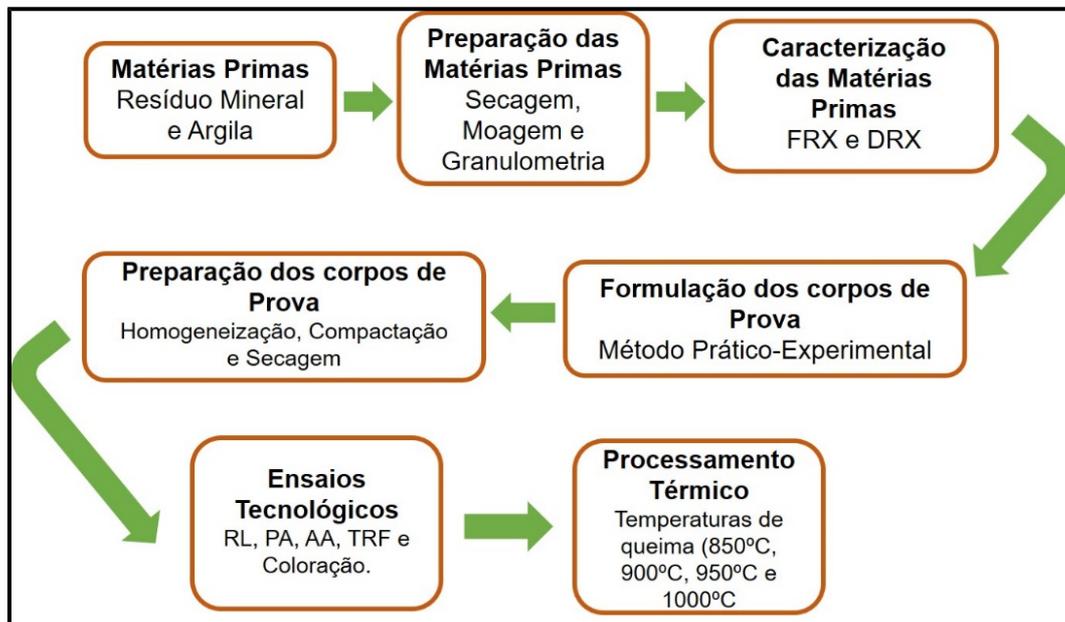
Mineralógicamente, esse minério é caracterizado por apresentar uma coloração rosa, com granulometria fina e ocorre como resíduos salinos, devido sua composição química apresentar os minerais silvinita (KCl) e halita (NaCl) (CEDES, 2014).

A proposta desta pesquisa foi estudar os efeitos da adição de resíduos de silvinita, como substituição ao quartzo, em formulações cerâmicas para a fabricação de blocos cerâmicos. Juntamente com o resíduo mineral para a formulação, foi utilizada a argila de uma jazida do município de Miguel Calmon - BA.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

A Figura 1 mostra o fluxograma simplificado da sequência adotada para obtenção e análise da influência do resíduo de silvinita em massa cerâmica para a produção de blocos cerâmicos.

**Figura 1** - Fluxograma para a produção de blocos estruturais cerâmicos com resíduo mineral de Silvinita



## Matérias Primas

Nesta pesquisa, foram utilizadas para a preparação da massa cerâmica, a argila, obtida em uma jazida no município de Miguel Calmon – BA, e o resíduo da exploração de silvinita, obtido no município de Nossa Senhora do Socorro - SE. As matérias primas foram inicialmente colocadas em estufa por 24 horas com temperatura de 57°C, para eliminação de água superficial presente. Posteriormente foram britadas e processadas em almofariz com pistilo para desaglomeração do material formado, e, peneirados numa peneira com malha de 200 mesh, equivalendo a peneira ABNT nº 200. Em seguida foram encaminhadas as amostras para análise de fluorescência de raios - x e difração de raios – x.

## Formulação dos Corpos de Prova

A formulação dos corpos de prova foi realizada via procedimento experimental prático, determinando-se um total de 05 (cinco) formulações distintas. A escolha deste procedimento se deu devido às características das matérias primas utilizadas, bem como da aplicação das mesmas. Uma análise preliminar foi realizada com o intuito de se reduzir o número de experimentos necessários, procedendo-se um estudo estatístico prévio e uma

revisão bibliográfica mais aprofundada sobre a utilização de resíduos minerais em massa cerâmica.

A Tabela 1 mostra a nomenclatura e composição das formulações adotadas nesse trabalho.

**Tabela 1.** Composição e nomenclatura das formulações.

FORMULAÇÃO	COMPOSIÇÕES		
	Nomenclatura	Argila (g)	Resíduo (g)
M		12	0
I		11,4	0,6
B		10,8	1,2
C		10,2	1,8
V		9,6	2,4

### Preparação dos Corpos de Prova

Para a preparação dos corpos de provas, foram confeccionados um total de 60 (sessenta) amostras, sendo três por formulação e temperatura de queima.

As amostras foram pesadas (12g cada), umedecidas e misturadas com água destilada (percentual próximo de 10% em peso), adquirindo consistência plástica para o processo de conformação. Em seguida foram colocadas em sacos plásticos, preservando sua umidade, pelo período de descanso de 24 horas.

Após o processo de maturação os corpos de prova foram compactados numa prensa uniaxial com capacidade para 15 toneladas, utilizando uma matriz metálica com dimensões 60 mm x 20 mm x 2 mm. A carga de compactação utilizada foi de 3 kgf/cm<sup>2</sup>, durante 30 segundos.

Após a compactação os corpos de prova foram identificados e colocados para secagem numa estufa elétrica por um período de 24 horas, numa temperatura de 110°C.

## **Processamento Térmico**

Os corpos de prova foram queimados nas temperaturas de 850°C, 900°C, 950°C e 1000°C, com isoterma de 1 hora e taxa de aquecimento de 10°C/min.

## **Ensaio Tecnológicos**

As propriedades tecnológicas dos corpos de prova foram determinadas através das análises dos resultados dos ensaios de Absorção de Água (AA%), Porosidade Aparente (PA%), Retração Linear de Queima (RLq%) e Tensão de Ruptura em Três Pontos (TRF), além da análise visual da coloração obtida.

Na análise da coloração dos corpos de prova, os mesmos foram agrupados de acordo com a temperatura de queima, perfazendo quatro grupos e, em seguida, sendo fotografados; percebendo-se a variação de tonalidade das peças com o aumento na temperatura de queima e teor de resíduo mineral utilizado.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Caracterização das Matérias Primas**

A argila utilizada nesta pesquisa (oriunda da jazida de Miguel Calmon – BA) apresenta um índice de plasticidade igual a  $9 < IP < 15$ , sendo considerada medianamente plástica. O resíduo mineral de silvinita, por sua vez, é um material não plástico.

As matérias primas utilizadas passaram pelo processo de classificação e cominuição para posteriormente serem enviadas ao Laboratório de Caracterização de Materiais – LCM do IFBA/Campus Salvador para procedimentos analíticos, sendo utilizado apenas materiais particulados com granulometria passante na peneira de 200 mesh.

A Tabela 2 mostra o resultado de fluorescência de raios – X realizado na argila de Miguel Calmon – BA e no resíduo mineral de silvinita.

**Tabela 2.** Análise semi-quantitativa (FRX) da argila e do resíduo de silvinita.

<b>ANÁLISE SEMI-QUANTITATIVA - FRX</b>		
<b>(%) Óxidos Presentes</b>	<b>(%) Argila Miguel Calmon</b>	<b>(%) Resíduo Silvinita</b>
SiO <sub>2</sub>	56,14	0,71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32,33	0,67
K <sub>2</sub> O	1,76	51,78
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,41	0,15
TiO <sub>2</sub>	0,96	-
CaO	0,38	0,54
MgO	1,40	2,30
SO <sub>3</sub>	0,22	0,86
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,15
Cl	0,07	42,69
Outros	0,26	0,11

Na argila observa-se que o principal óxido presente é o SiO<sub>2</sub> (sílica), com teor de 56,14%, indicando a presença de silicatos (argilominerais, micas e feldspato) e sílica livre, na forma de quartzo, propiciando redução na plasticidade da argila. O outro óxido em maior proporção é o Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> com 32,33%, geralmente combinado formando os argilominerais. O feldspato com teor de 1,76% é considerado um fundente e confere resistência mecânica quando queimado entre 950°C e 1000°C. O óxido de ferro – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> possui teor de 6,41%, propiciando uma tonalidade escura na massa cerâmica após a queima. O teor de 1,40% de MgO está associado a presença de dolomita.

No resíduo mineral de silvinita o óxido presente em maior quantidade é óxido de potássio – K<sub>2</sub>O, com 51,78%, indicando a presença de silicatos (como o feldspato), propiciando redução na plasticidade da massa cerâmica, seguido pelo cloro – Cl com 42,69%, indicando a presença de halita. Os demais óxidos com teores inferiores a 1% são considerados impurezas.

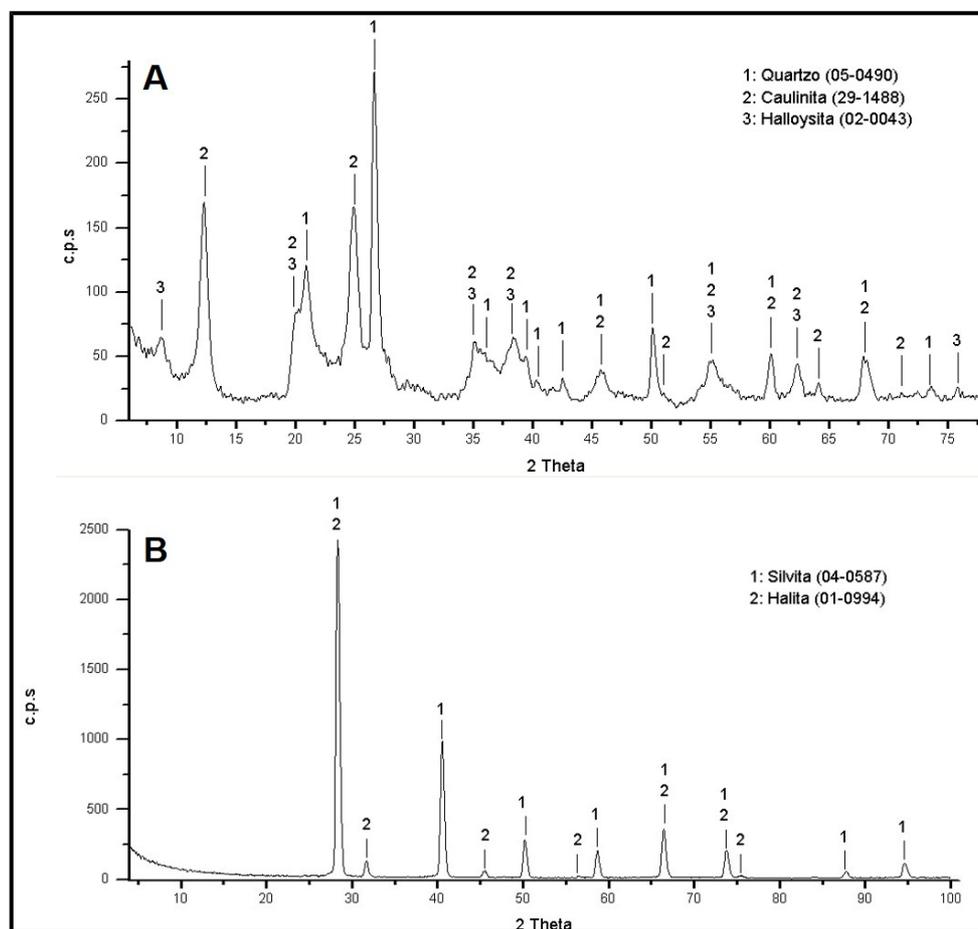
A Figura 2A mostra o difratograma de raios - X da argila de Miguel Calmon – BA utilizada nesta pesquisa.

No difratograma percebe-se a presença de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caulinita [ $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ], estando em conformidade com os resultados obtidos na análise por fluorescência de raios - X.

A Figura 2B mostra o difratograma de raios - X do resíduo mineral de silvinita, apresentando a análise mineralógica dessa matéria prima.

No difratograma realizado no resíduo percebe-se a presença da silvita correspondente pelo elevado teor de potássio e o mineral halita - NaCl, um cloreto de sódio estando de acordo com a análise por fluorescência de raios-X.

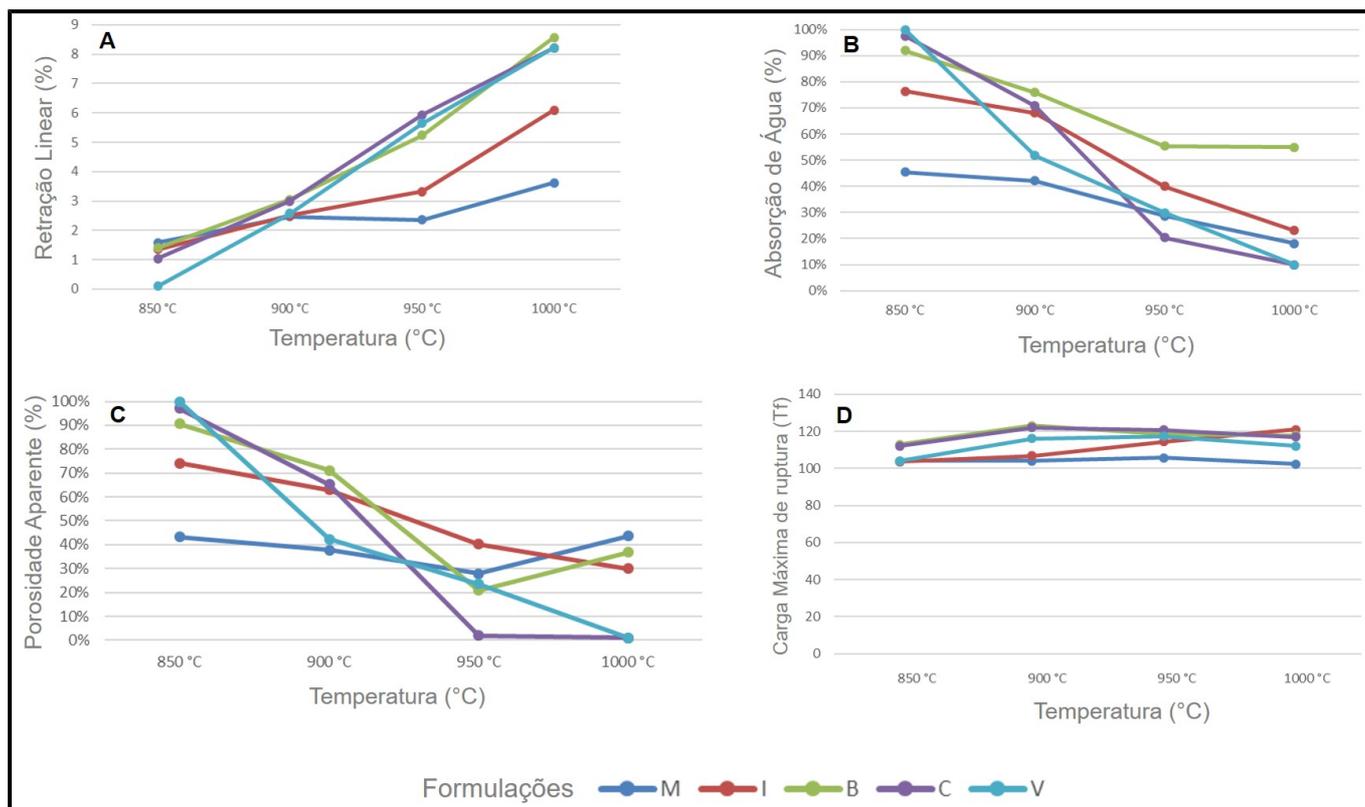
**Figura 2** - Difratogramas de Raios - X. (A) argila de Miguel Calmon e (B) resíduo mineral da Silvinita.



## Ensaio Tecnológicos

A Figura 3A mostra o resultado do ensaio de Retração Linear, realizado nas formulações nas diferentes temperaturas de queima.

**Figura 3** – Propriedades Tecnológicas dos corpos de prova estudados nesta pesquisa.



Os corpos de prova nas formulações estudadas apresentaram um aumento crescente na retração linear com o aumento de temperatura de queima, apresentando os menores valores a 850°C e os maiores a 1000°C.

É perceptível que entre 850° e 900° as maiores retrações acontecem na formulação com maior percentual de resíduo (formulações B, C e V). Na temperatura de 1000°C a retração tende a acontecer nas formulações com maior quantidade de resíduo.

O resultado de absorção de água (Fig. 3B) nas formulações está coerente com os resultados obtidos no ensaio de retração linear apresentados na Figura 3B. Há uma redução na absorção de água com o aumento crescente na temperatura de queima dos corpos cerâmicos, nas formulações estudadas. A maior absorção de água foi verificada nas formulações com 10, 15 e 20% de resíduo na temperatura de 850°C, ficando em torno de 90%, enquanto a menor absorção, em torno de 10%, foi verificada nas formulações C e V na temperatura de 1000°C. Ficou evidenciado que quanto maior o percentual de resíduo mineral, em temperaturas abaixo de 900°C, maior será o teor de absorção de água.

Os resultados do ensaio de porosidade aparente (Fig. 3C) nos corpos de prova das formulações estudadas estão em conformidade com os resultados de absorção de água e

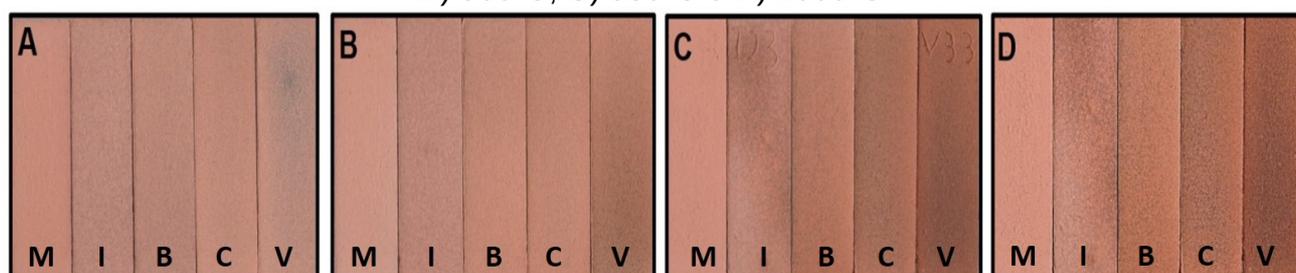
retração linear de queima. Notadamente há uma diminuição na porosidade aparente com o aumento na temperatura de queima, possivelmente pela formação de fase líquida. Na faixa entre 900°C e 1000°C, a redução maior na porosidade ocorre na formulação com maior teor de resíduo de silvinita (formulações C e V).

A Figura 3D mostra o resultado do ensaio de resistência à flexão em três pontos realizada nos corpos de prova das formulações estudadas. Os maiores valores de resistência à flexão são percebidos nas formulações com maior quantidade de resíduo, estando em conformidade com os resultados tecnológicos anteriores.

### Coloração dos corpos de prova após a queima

A Figura 4 mostra as fotos dos corpos de provas das formulações estudadas nas diferentes temperaturas de queima.

**Figura 4** – Fotos dos corpos de prova após a queima. Temperaturas de queima: A) 850°C; B) 900°C; C) 950°C e D) 1000°C.



Percebe-se que nas temperaturas de queima estudadas que quanto maior a temperatura de queima mais intenso fica a tonalidade das amostras. Praticamente a coloração das amostras é devido à presença do óxido de ferro (em torno de 6%) da argila utilizada e a presença de  $K_2O$  no resíduo de silvinita. Desta forma, observando-se que a interferência na tonalidade com o aumento do teor do resíduo de silvinita.

### CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicam ser interessante a utilização do resíduo de silvinita em massa cerâmica para a produção de blocos cerâmicos; em substituição ao feldspato. Comparativamente, as formulações com 10, 15 e 20% de resíduo apresentaram os melhores resultados, embora as formulações com 5% de resíduo apresentam resultados

satisfatórios; atendendo as especificações técnicas, indicando a possibilidade de aplicações diversas em corpos cerâmicos.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao grupo de pesquisa Automação, Eficiência Energética e Produção do IFBA – Campus Jacobina pelo apoio e suporte técnico no desenvolvimento deste projeto, a PRPGI/IFBA pelo aporte financeiro na apresentação do trabalho e ao Laboratório de Caracterização de Materiais – LCM do IFBA/Campus Salvador pelas análises químicas realizadas.

## **REFERÊNCIAS**

LUZ, A. B. da. & LINS, F. A. F. **Rochas & Minerais Industriais: Usos e Especificações**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 867p. 2005.

Centro de Estudos e Debates Estratégicos – CEDES. **Minerais Estratégicos e Terras-Raras**. Brasília, 2014.

Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. **Sumário Mineral**. Brasília, DF. 2004.

Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. **Economia Mineral**. Brasília, DF. 2009.

NASCIMENTO, M. & LAPIDO-LOUREIRO, F. E. **Fertilizantes e Sustentabilidade. O potássio na Agricultura Brasileira**. [[http://www.cetem.gov.br/publicações/Séries/SérieEstudos e Documentos](http://www.cetem.gov.br/publicações/Séries/SérieEstudos_e_Documentos)], 64p. (2004).

## CAPÍTULO 3

### APROVEITAMENTO E APLICAÇÃO DO RESÍDUO MINERAL DE ARGILITO DA SERRA DO TOMBADOR, COMO MATÉRIA-PRIMA PARA CERÂMICA VERMELHA

*Haila Victoria Silva Batista*

*Carla Camille da Cruz Antunes*

*Tércio Graciano Machado*

*Talita Fernanda Carvalho Gentil*

#### RESUMO

O objetivo deste estudo foi a utilização do resíduo mineral de argilito da Serra do Tombador – BA, como matéria-prima na produção de blocos cerâmicos. Para essa pesquisa, foram preparados quatro grupos de amostras com 30, 20 e 10% de argilito, e um grupo com a massa padrão. As matérias-primas foram caracterizadas por fluorescência de raios – X (FRX) e difração de raios – X (DRX) e análise térmica. As amostras foram compactadas numa prensa uniaxial com pressão de 2,5 MPa, sendo em seguida identificadas e colocadas em estufa por 24 h com temperatura de secagem de 57°C. Após a secagem foram sinterizadas a 850°C, 900°C, 950°C e 1000°C durante 60 minutos, com taxa de aquecimento de 10°C/min. Após, foram realizados os ensaios tecnológicos de Absorção de Água (AA), Porosidade Aparente (PA), Retração Linear (RL) e Resistência à flexão (RF).

**Palavras-chave:** Reaproveitamento, Argilominerais e Caracterização Tecnológica.

#### INTRODUÇÃO

A extração mineral (pedreiras, lavras e mineradoras), ao longo de muitas décadas, tem se firmado como uma atividade capaz de gerar empregos e ser fonte extra de renda para pequenos proprietários rurais, sobretudo nas localidades onde não há

desenvolvimento ou perspectivas de melhoria social. No entanto, também é uma atividade que causa enormes impactos ambientais, muitos desses irreversíveis. (MACHADO, 2012).

A indústria cerâmica vermelha no Brasil tem grande importância no cenário da indústria da Construção Civil devido à expressiva produção nacional de blocos cerâmicos. Além disso, existe o fator cultural, indicando que os blocos cerâmicos ainda são preferência do consumidor na maioria das regiões, mesmo com o surgimento de outros blocos, tais como bloco de concreto e concreto celular; dentre outros. (GOUVEIA, 2008).

Há no Brasil uma variedade imensa de jazidas de minerais e rochas que podem, prontamente, ser utilizados na indústria cerâmica, dentre estes o argilito, que é uma rocha compacta, produzida por compressão das argilas, apresentando certa quantidade de xisto, argila xistosa. No geral é considerado uma rocha de origem sedimentar compacta, de grãos finos e laminados, contendo feldspato, quartzo, argilominerais e clorita (ROS, 1986).

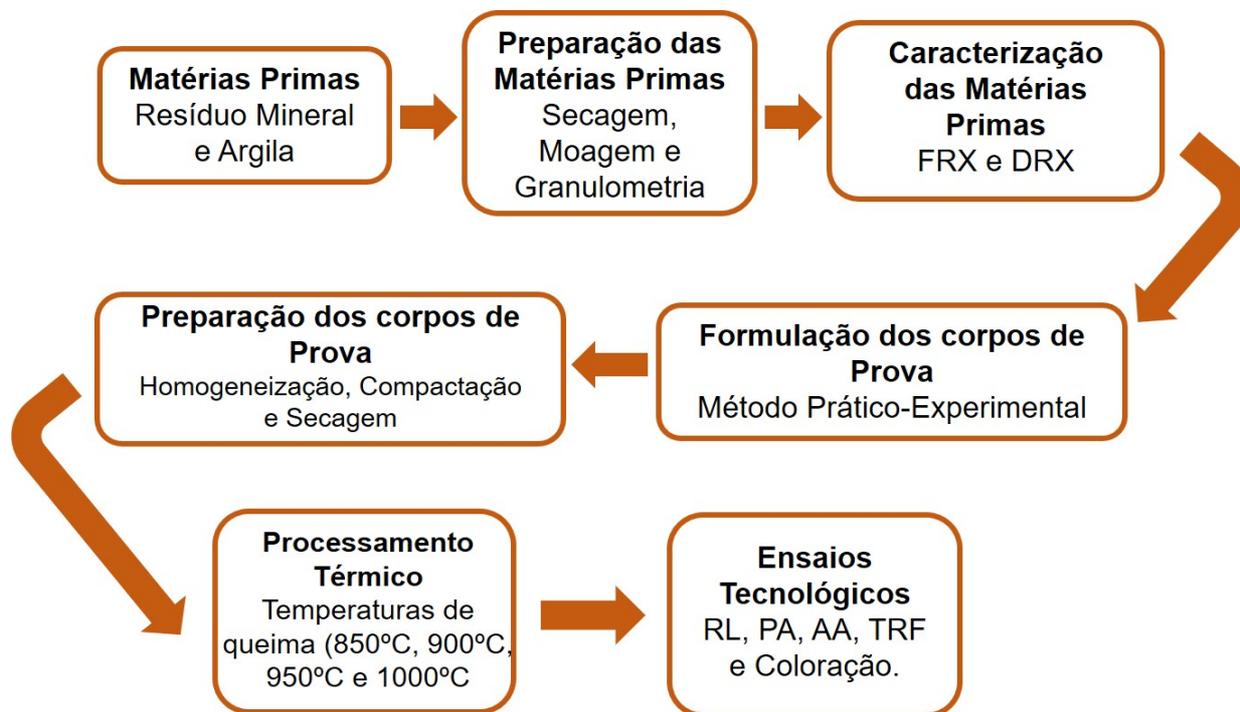
A questão da reciclagem dos resíduos e a sua possível utilização, bem como a questão ambiental global como um todo passou a ser um fator decisivo de tomada de decisão. Ao mesmo tempo, a cerâmica, a nível mundial, teve forte desenvolvimento tecnológico nos últimos 30 anos, onde o avanço dos materiais especiais, da tecnologia de combustão, da decoração, dos esmaltes, e, em especial do conhecimento da ciência dos materiais, permitiu, através da combinação desses diferentes conhecimentos, o forte desenvolvimento da tecnologia e conseqüente incremento da produção dos materiais cerâmicos, oferecendo ao mercado produtos com melhores características, produzidos por uma tecnologia limpa. (MACHADO, 2012; BRAGA 2005).

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar a influência da incorporação do resíduo de argilito no processamento, nas propriedades e na microestrutura da massa cerâmica.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

O fluxograma simplificado apresentado na Figura 1 apresenta a seqüência adotada para obtenção e análise da influência do resíduo da exploração de argilito em massa cerâmica para a produção de blocos cerâmicos, atingindo-se os objetivos propostos.

**Figura 1** – Fluxograma para a produção de blocos estruturais cerâmicos com resíduo de argilito da Serra do Tombador – BA.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### Matérias-Primas

Essa etapa foi iniciada com a britagem do material, que é entendida como a fragmentação de grandes materiais, levando-os a granulometria compatíveis para utilização direta. Após isso, vem o processo de moagem, que é a chamada fragmentação fina, que representa o último estágio da redução granulométrica na cominuição de minérios. Aqui as partículas são reduzidas pela combinação de impacto, compressão, abrasão e atrito, a um tamanho adequado à liberação do mineral, na moagem do material deste trabalho foi utilizado como instrumento auxiliar o almofariz, em que se realiza o maceramento do material a ser utilizado.

Em seguida, inicia-se o processo de peneiramento, utilizando uma peneira com malha de 200 mesh, equivalendo à peneira ABNT nº 200. Em seguida foram encaminhadas amostras para análise de fluorescência e difração de raios – X.

## **Preparação e formulação do corpo de prova**

Nessa etapa, ocorreu a elaboração da formulação. Em que o corpo de prova deverá ter 12g, sendo essa massa dividida entre o resíduo e a massa padrão (argila), cuja formulação pertence à empresa Canabrava, ficando 30%, 20% e 10% de resíduo, argilito da Serra do Tombador, e respectivamente, 70%,80% ,90% de massa padrão, além de um corpo de prova que possuirá 100% de massa padrão.

Após a formulação concluída, deu-se início ao processo de pesagem, que consiste em separar o material na quantidade de amostras que serão necessárias, bem como por quantas temperaturas o mesmo será queimado. Posteriormente vem a parte de umidificação, que equivale a deixar o material úmido, juntando as suas partículas, facilitando assim o processo de prensagem.

Seguidamente, foi iniciado o processo de prensagem, esse processo é equivalente à compactação do material, em que acontece a redução do volume do mesmo, bem como aumento da sua rigidez e aumento de impermeabilidade. Após esse processo, é necessário realizar a nomeação dos corpos de prova, com o auxílio de uma agulha, em que cada uma se coloca as letras escolhidas, a numeração e a temperatura, por exemplo, X11, X21, X31, e assim sucessivamente. Vale ressaltar que para cada temperatura são utilizadas três amostras.

Quando as amostras estão devidamente prensadas e nomeadas, as mesmas vão para estufa, com o princípio de funcionamento é fazer com que o ar quente passe pelo corpo de prova e assim retire a umidade do mesmo.

## **Processamento Térmico**

Os corpos de prova foram queimados num forno tipo Mufla. A taxa de aquecimento adotada foi de 10°C/min. A isoterma foi de 1 hora nas temperaturas de 850°, 900° 950° e 1000°C.

## **Ensaio Tecnológicos**

As propriedades tecnológicas dos corpos de prova foram determinadas através das análises dos resultados dos ensaios de Absorção de Água (AA%), Porosidade Aparente

(PA%), Retração Linear de Queima (RLq%) e Tensão de Ruptura em Três Pontos (TRF); além da análise visual da coloração obtida.

Na análise da coloração dos corpos de prova, os mesmos foram agrupados de acordo com a temperatura de queima, perfazendo quatro grupos e, em seguida, sendo fotografados; percebendo-se a variação de tonalidade das peças com o aumento na temperatura de queima e teor de resíduo mineral utilizado.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Caracterização das Matérias Primas

A argila utilizada neste trabalho (Argila Canabrava – BA) é considerada medianamente plástica. O resíduo mineral, por sua vez, é um material não plástico.

As matérias-primas passaram pelo processo de cominuição mecânica, seguido pela etapa de peneiramento; sendo utilizado material particulado com granulometria passante na peneira de 200 mesh.

O Quadro 2 mostra os resultados de fluorescência de raios – X realizado na argila e para o resíduo mineral de argilito.

**Quadro 2** – Análise semi-quantitativa da argila Canabrava e o resíduo mineral de argilito – FRX.

Análise Semi-Quantitativa - FRX		
(%) óxidos presentes	Argila Cana Brava (%)	Resíduo Argilito (%)
SiO <sub>2</sub>	49,64	68,79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29,99	23,64
K <sub>2</sub> O	0,95	0,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,87	4,70
TiO <sub>2</sub>	0,97	0,41
CaO	4,60	0,16
MgO	1,70	0,60
SO <sub>3</sub>	1,11	0,13
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-
Cl	0,13	0,61
MnO	0,10	-
Outros	2,71	0,07

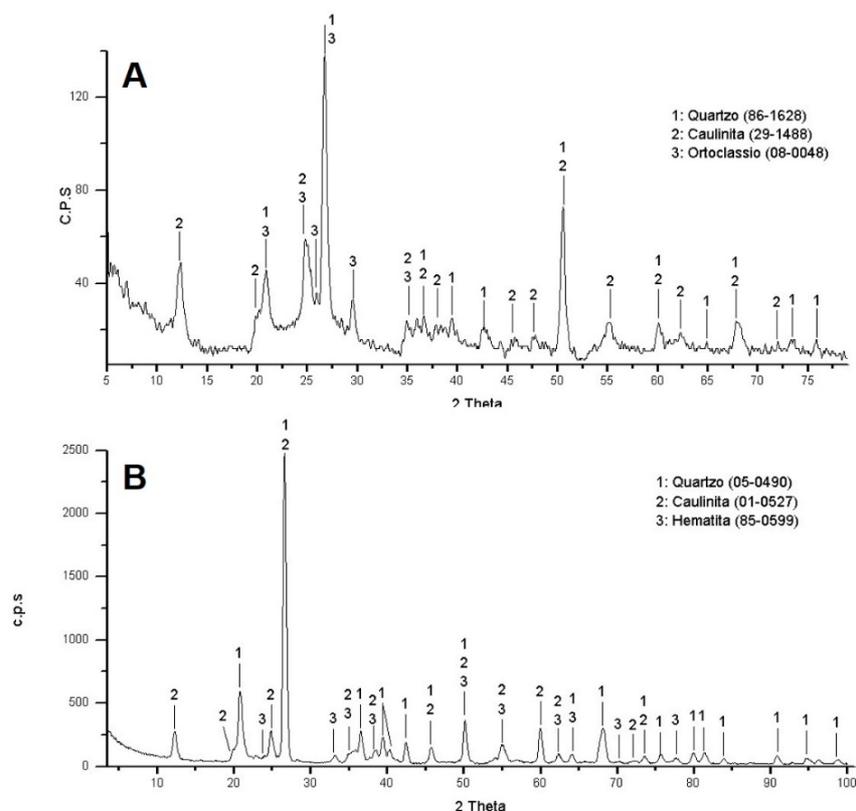
Na argila observa-se que o principal óxido presente é o  $\text{SiO}_2$  (sílica), com teor de 49,64%, indicando a presença de silicatos (argilominerais, micas e feldspato) e sílica livre, na forma de quartzo, propiciando redução na plasticidade da argila. O outro óxido em maior proporção é o  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina) com 29,99%, geralmente combinado formando os argilominerais. O feldspato potássio na forma de  $\text{K}_2\text{O}$  com teor de 0,95% é considerado um fundente e confere resistência mecânica quando queimado entre  $950^\circ$  e  $1000^\circ\text{C}$ . O óxido de ferro –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  possui teor de 7,87%, propiciando uma tonalidade avermelhada na massa cerâmica após a queima. O teor de 1,70% de  $\text{MgO}$  (óxido de magnésio) está associado à presença de dolomita.

No resíduo mineral de Argilito o óxido presente em maior quantidade é óxido de silício –  $\text{SiO}_2$ , com 68,79%, seguido pela alumina –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , que combinados formam os argilominerais, principais componentes dos argilitos. O outro óxido presente é o ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) com 4,70% e o potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) com 0,81%.

A Figura 2A mostra o difratograma da massa padrão (argila da empresa Canabrava) utilizada neste trabalho.

**Figura 2** – Difratogramas de raios – X.

(a) Argila Canabrava e (b) Resíduo de Argilito.



No Difratoograma (Fig. 2A) percebe-se a presença de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e caulinita [ $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ], estando em conformidade com os resultados obtidos na análise por fluorescência de raios-X. O ortoclásio presente indica a presença de feldspato.

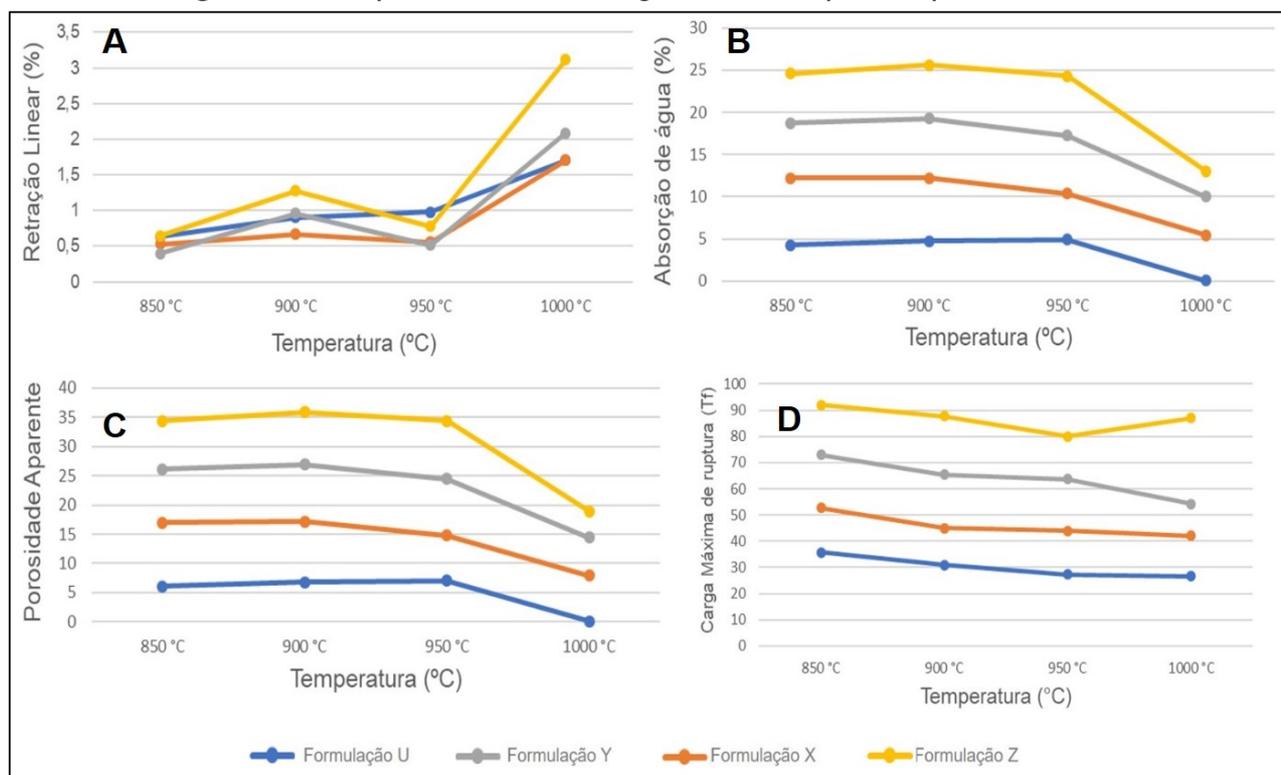
A Figura 2B mostra o difratograma do resíduo mineral de argilito utilizado neste trabalho, apresentando a análise mineralógica dessa matéria-prima.

No difratograma realizado no resíduo percebe-se a presença dos minerais quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), caulinita [ $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ] minerais da classe dos silicatos e Hematita [ $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ] um óxido de ferro, estando de acordo com a análise por fluorescência de raios-X.

### Ensaio Tecnológicos

A Figura 3 mostra o resultado do ensaio de Retração Linear, com desvio padrão de no máximo 3,1%, realizado nas formulações nas diferentes temperaturas de queima.

**Figura 3 – Propriedades Tecnológicas dos corpos de prova estudados nesta**



É perceptível que os corpos de prova nas formulações estudadas apresentaram um aumento crescente na retração linear (Fig. 3A) com o aumento de temperatura de queima, apresentando os menores valores a 850°C e 950°C e os maiores a 900°C e 1000°C.

Notadamente, quanto maior o percentual de resíduo de argilito maior será a retração linear; fato este não verificado em todas as formulações a 950°C, embora encontrando-se dentro da margem de erro.

O resultado de absorção de água (Fig. 3B) nas formulações está coerente com os resultados obtidos no ensaio de retração linear apresentados na Figura 3A. Há uma redução na absorção de água com o aumento crescente na temperatura de queima dos corpos cerâmicos, nas formulações estudadas. A maior absorção de água foi verificada na formulação Z na temperatura de 900°C, ficando em torno de 25,1%, enquanto a menor absorção, em torno de 13%, foi verificada nessa mesma formulação na temperatura de 1000°C. Notadamente, quanto maior o percentual de resíduo mineral, em temperaturas abaixo de 900°C, maior será o teor de absorção de água.

Os resultados do ensaio de porosidade aparente (Fig. 3C) nos corpos de prova das formulações estudadas estão em conformidade com os resultados de absorção de água e retração linear de queima. Percebe-se, no geral, uma diminuição na porosidade aparente com o aumento na temperatura de queima. Na faixa de temperatura de queima entre 850°C e 900°C ocorre uma variação em torno de 5 a 35% variando-se de acordo com o teor de resíduo utilizado. Na faixa entre 950°C e 1000°C, a redução maior na porosidade ocorre nas formulações com maior teor de resíduo de argilito.

A Figura 3D mostra o resultado do ensaio de resistência à flexão em três pontos realizada nos corpos de prova das formulações estudadas.

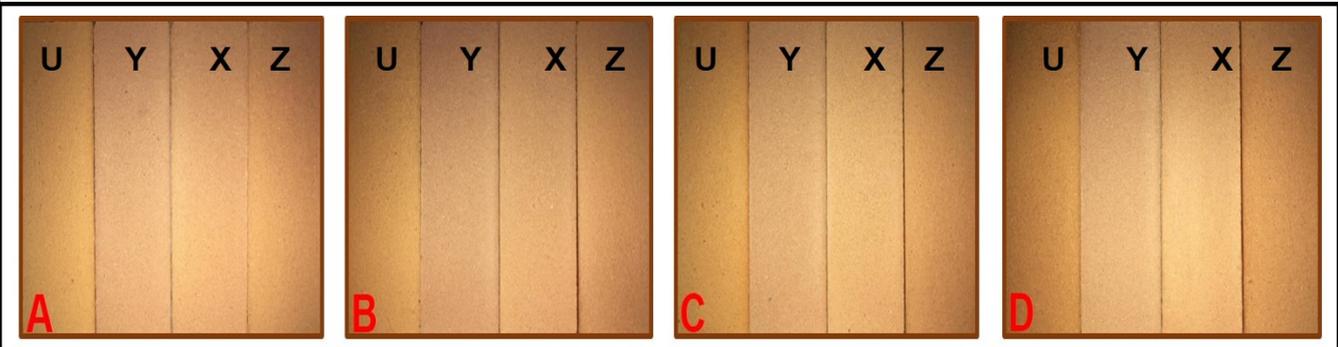
Os maiores valores de resistência à flexão são percebidos nas formulações com maior quantidade de resíduo. Entretanto, os valores alcançados para as formulações estudadas estão com percentual variando entre 14 a 35 (Tf) devido ao teor de resíduo mineral.

Através dos dados apresentado, podemos confirmar que a utilização desse resíduo em massa cerâmica é viável para fabricação de blocos, telhas e outros produtos cerâmicos, que contribuirá para a diminuição do impacto causado ao meio ambiente na região da Serra do Tombador.

### Coloração dos corpos de prova após a queima

A Figura 4 mostra as fotos dos corpos de provas das formulações estudadas nas diferentes temperaturas de queima.

**Figura 4** – Fotos dos corpos de prova após a queima. Temperaturas de queima: A)



Percebe-se que nas temperaturas de queima estudadas há pouca alteração na tonalidade dos corpos de prova devido ao processo de oxidação da mistura da massa padrão com o aumento do teor do resíduo mineral de argilito. Temperaturas mais elevadas propiciam a formação de um produto final com tonalidade pouco mais clara.

### CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios tecnológicos demonstram que a incorporação do resíduo de argilito em massa cerâmica não interfere significativamente nas propriedades tecnológicas do produto final, em exceção a formulação Z, que apresentou absorção de água em 25%, não sendo apropriada para a utilização de bloco. Para as outras formulações os resultados obtidos indicam ser interessante a utilização deste resíduo em massa cerâmica para a produção de blocos cerâmicos, bem como em telhas e demais produtos cerâmicos. Comparativamente, as formulações Y e X apresentaram os melhores resultados. É, possível concluir também, que a utilização desse resíduo em massa cerâmica, ajuda a diminuir o impacto ambiental na região da Serra do Tombador – BA.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao grupo de pesquisa Automação, Eficiência Energética e Produção do IFBA – Campus Jacobina pelo apoio e suporte técnico no desenvolvimento deste projeto, a PRPGI/IFBA pelo aporte financeiro na apresentação do trabalho e ao Laboratório de Caracterização de Materiais – LCM do IFBA/Campus Salvador pelas análises químicas realizadas.

## REFERÊNCIAS

BRAGA, B. **Introdução à Engenharia Ambiental: O desafio do desenvolvimento sustentável**. Pearson Education do Brasil. São Paulo, 2a Edição, 2005.

GOUVEIA, F. P. **Efeito da Incorporação de Chamote (Resíduo Cerâmico Queimado) em Massas Cerâmica para a fabricação de Blocos de Vedação para o Distrito Federal –DF**. Um Estudo Experimental. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia, Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MACHADO, T. G. **Estudo da adição de resíduo de scheelita em matriz cerâmica: formulação, propriedades físicas e microestrutura**. 2012. 144 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

ROS, L. F. de & CESERO, P. **Argilas em arenitos – Bases para a interpretação petrogenética**. *In*: Anais de XXXIV Cong. Bras. de Geol., Goiânia, Goiás. v.4. p. 1663-1670, 1986.

## CAPÍTULO 4

### ESTUDO DA CONCENTRAÇÃO E ORIGEM DE HIDROCARBONETOS ALIFÁTICOS NO SEDIMENTO SUPERFICIAL DA BARRA DO SACO DO LARANJAL - LAGUNA DOS PATOS (PELOTAS – RS – BRASIL)

Fabiana Priebe Holz  
Eduarda Medran Rangel  
Beatriz Pedrotti Fabião  
Pedro José Sanches Filho

#### RESUMO

Este artigo apresenta um estudo da presença de n-alcenos no sedimento da Barra do Saco do Laranjal. Os hidrocarbonetos são considerados indicadores geoquímicos e podem inferir a origem dos recursos matéria orgânica hídrica. A extração dos sedimentos foi realizada de acordo com o método EPA 3550 e a separação dos hidrocarbonetos alifáticos foi feita por cromatografia em coluna preparativa. A análise cromatográfica a gás com detector de ionização de chama foi empregada para a identificação e quantificação dos compostos. Os locais de amostragem apresentaram uma mistura de diferentes fontes. A concentração de n-alcenos totais variou de 1.350,86 a 7.072,33  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ . Em todas as amostras de sedimento a presença de um MCNR unimodal caracterizando origem antropogênica do orgânico bruto. A concentração de hidrocarbonetos alifáticos totais indica contaminação crônica por produtos de petróleo e origem biogênica como plantas superiores. Há potencial de poluição no local, especialmente na conexão do canal São Gonçalo na Laguna., No entanto, as concentrações totais de hidrocarbonetos ao longo dos pontos de amostragem indicam que está diminuindo a capacidade de diluição da lagoa.

**Palavras-chave:** Análise Cromatográfica. HPAs. Laguna dos Patos.

#### INTRODUÇÃO

A região do Pontal da Barra, situada na praia da barra do saco do Laranjal, no Município de Pelotas, é referida pela Base de Dados Tropicais como área prioritária para a

preservação, pois constitui um local de berçário para diversas espécies. Local este, que se caracteriza por ser uma área de banhado, e como tal, serve de controle hidrológico para a região (VENZKE; MAURÍCIO; MATZENAUER, 2018). Além disso, atende a comunidade pesqueira local, caracterizando-se como um ambiente de importância econômica, pois é fonte de subsistência para diversas famílias (SELMO, ASMUS, 2006).

A barra do Saco do Laranjal localiza-se na região estuarina da Laguna dos Patos e compreende um local de ligação da laguna ao canal São Gonçalo, o que faz com que suas águas sofram influência de ambos, já que devido ao desnível e ação dos ventos, sua corrente de fluxo pode variar de sentido (CALDAS; SANCHES FILHO, 2013; SCHWINGEL; SPERB; VELASCO, 2020).

Regiões estuarinas, por se tratarem de zonas com intensa atividade econômica, podem servir como receptoras finais de matéria orgânica de origem antropogênica, que podem entrar no ecossistema através de assoreamento do solo, descarga de efluentes em rios, e emissões atmosféricas (WU et al., 2001). Barcelos (2005) ressalta que os estuários possuem importante papel no ciclo sedimentar e, embora sejam áreas preferenciais de deposição, atuam como uma área de transição, promovendo trocas entre os oceanos e os ambientes continentais.

Os sedimentos são carreadores e fontes potenciais de contaminantes nos sistemas aquáticos, por isso sua análise é importante para o estudo da poluição de origem antropogênica nos corpos d'água (OLIVEIRA; OLIVEIRA; SANTOS; MELO; KRAG, 2018)

A caracterização físico-química do sedimento pode indicar, de modo genérico a probabilidade de acumular poluentes. Características como granulometria, matéria orgânica e teor de carbono orgânico podem indicar a susceptibilidade do sedimento em reter hidrocarbonetos. Dessa forma, a presença de sedimentos finos está condicionada a uma maior afixação por compostos orgânicos, assim como os abundantes detritos de matéria orgânica e altos teores de carbono orgânico (CALVA et al., 2005). As propriedades das águas intersticiais (pH, condutividade, alcalinidade e carbono orgânico dissolvido), também interferem na retenção de contaminantes, uma vez que controlam a solubilidade dos contaminantes na coluna d'água.

O estudo de hidrocarbonetos alifáticos, em especial os n-alcanos, pode ajudar na identificação da origem da matéria orgânica em ambientes aquáticos. De acordo com Volkman et al., (1992), os hidrocarbonetos são compostos orgânicos e apresentam boa estabilidade química em águas e sedimentos, por isso têm sido muito utilizados como biomarcadores e indicadores de poluição por petróleo.

Os hidrocarbonetos biogênicos são tipicamente caracterizados por uma série de homólogos de cadeia pequena, n-alcenos com cadeias predominantes entre nC15 - nC19 derivam de algas, os de cadeia longa (nC25 - nC35) derivam de plantas terrestres. Juntamente a essas características, os de origem natural, apresentam também uma forte predominância do número de carbonos ímpares na estrutura molecular (SOUZA, 2008). Os de origem fóssil apresentam uma variada composição dependendo da sua fonte específica. Para Simoneit, (1993) a origem antrópica também se caracteriza pela ausência de uma dominância par ou ímpar no número de cadeias moleculares.

O Índice de Preferência de Carbono (IPC), vem sendo largamente usado para determinar a contribuição de plantas terrestres em diversos ambientes (ARDUIM; HACKBART; AMARAL; SANCHES FILHO, 2019; GAMBOA; SANTANA; GONZÁLEZ; et al., 2019). Presença de n-alcenos com IPC variando entre 4 e 7 inferem origem biogênica, enquanto um IPC em torno de 1 indica geralmente origem petrogênica (BOULOBASSI, 1993). A razão entre o material terrígeno e aquático (RTA) proposto por Bourbonniere e Meyers (1996) também pode inferir na origem, sendo que quanto mais alto o valor para este parâmetro maior a tendência por fontes terrígenas.

Os estuários próximos a centros urbanos são passíveis de contaminação por efluentes, sendo comum a detecção de misturas complexas não-resolvidas (MCNR) nos cromatogramas. A MCNR é caracterizada pela existência de uma mistura muito complexa de hidrocarbonetos e que não pode ser resolvida pela coluna capilar, e sua presença está diretamente relacionada a contaminação por derivados de petróleo, seja devido ao conteúdo de óleos lubrificantes e resíduos de petróleo presentes nos efluentes, seja por aporte pontual de óleo (GOGOU et al., 2000).

Dessa forma, tem-se como objetivo um estudo do sedimento da Barra do saco do Laranjal quanto à presença e distribuição dos n-alcenos, para fornecer subsídios que possam inferir a origem de compostos orgânicos no ambiente estudado e avaliar as influências das atividades antropogênicas no local.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Área de Estudo**

A praia da Barra do Saco do Laranjal localiza-se na desembocadura do Canal São Gonçalo na Laguna dos Patos. Esse local serve como canal de acesso ao porto de

Pelotas, além disso, caracteriza-se pela presença de uma colônia de pescadores, sendo que a transição de pequenas e médias embarcações é comum na região. Um pequeno cais de pescadores está situado nesse local e, além disso, o canal sofre constantemente com a atividade antrópica da cidade de Pelotas representada pela descarga de canais de drenagem pluvial como o canal do Pepino, Santa Bárbara entre outros (SANCHES FILHO et. al., 2017, SANCHES FILHO; MESQUITA, 2018).

Os pontos escolhidos para desenvolvimento deste estudo estão situados em uma área que abrange desde a desembocadura do canal São Gonçalo na Laguna até os limites com o balneário valverde e o município de Rio Grande:

- P1: Localizado na desembocadura do Canal São Gonçalo, com o objetivo principal de identificar as fontes de hidrocarbonetos que chegam pelo canal e da colônia de pescadores situada no local;
- P2: Localizado a frente do P1 e ainda com o objetivo de verificar a contribuição de contaminação do canal e seu comportamento ao adentrar a Laguna.
- P3: Localizado a frente do P2, com o objetivo de estudar as fontes de HCs na Lagoa e que sofrem influência pelo canal.
- P4: Localizado nas proximidades do município de Rio Grande e tem o objetivo de verificar dispersão dos hidrocarbonetos ao longo da Laguna; P5: Localizado nas proximidades do balneário Valverde com o objetivo de verificar a dispersão dos hidrocarbonetos ao longo da Laguna;

A coleta de sedimento foi realizada em 21 de setembro de 2011, em 5 pontos distintos na Barra do Saco do Laranjal.

As coletas foram feitas com o auxílio de uma Draga do tipo Van Veen, na interface sedimento/água até uma profundidade de 10cm. Foi realizada uma coleta pontual única em cada ponto e as amostras foram armazenadas em frascos de vidro previamente descontaminados, e encaminhados ao laboratório sob temperatura de  $-4^{\circ}\text{C}$ . As posições exatas dos pontos de coleta (Tabela 1) foram identificadas com GPS (GPS, Sistema de Posicionamento Global, Garmin & Trex®, com precisão de  $\pm 15$  m).

**Tabela 1.** Pontos, características e sua localização.

Sedimento		Profundidade (m)	Coluna d'água		
% Umidade	%MO		T $^{\circ}\text{C}$	C $\mu\text{S.cm}^{-1}$	pH

<b>P1</b>	S 31°47'375" W 52°12'965"	77,34±3,68	8,51±0,98	7,0	20,0	113,3	7,6
<b>P2</b>	S31°47'254" W 52°12'473"	72,69±0,73	8,5±3,96	7,0	18,0	122,8	7,4
<b>P3</b>	S31°37'426" W 52°33'421"	57,84±0,77	4,19±1,82	7,0	19,0	93,10	7,2
<b>P4</b>	S31°37'226" W52°33'421"	59,07±4,84	0,20±0,32	1,5	18,0	101,9	7,5
<b>P5</b>	S 31°46'543" W 52°12'343"	67,28±1,28	6,15±2,58	3,5	20,0	135,7	7,3

Umidade ± CV(coeficiente de variação), MO – Matéria Orgânica ± CV , C – condutividade, T – Temperature, pH

As análises da coluna d'água foram realizadas no momento da coleta com equipamentos apropriados: pH, com potenciômetro Lutron; condutividade elétrica, com condutivímetro Instrutherm modelo CD-830; e temperatura com termômetro de mercúrio.

A matéria orgânica total foi determinada pelo método de calcinação (MIRLEAN, 2003). A distribuição granulométrica foi estabelecida pelo método padrão de peneiras (SUGUIO, 1973) com o objetivo principal de caracterizar a capacidade de decantação de acordo com o tamanho do grão. O teor de umidade foi obtido por método gravimétrico descrito por Tedesco et al. (1995).

Todos os materiais utilizados foram previamente descontaminados com detergente e água destilada, seguidos de enxágues com acetona, hexano e diclorometano, com posterior secagem. Os solventes utilizados foram previamente destilados e os procedimentos analíticos foram realizados em triplicata.

A extração dos analitos, de 20g de amostra úmida, foi feita em banho de ultra-som, sendo utilizados como solventes uma mistura de hexano e acetona 1:1 em 3 ciclos de 30 minutos, com 1 filtragem a cada ciclo, seguindo o descrito por EPA 3550. O filtrado recolhido teve seu volume reduzido para aproximadamente 10 mL, em evaporador rotativo, à vácuo. Em seguida, com o uso de diclorometano (DCM), o volume foi transferido para béquer e mantido em dessecador, até completa secagem.

Os extratos secos foram fracionados em uma coluna líquida preparativa para obtenção da fração de hidrocarbonetos alifáticos. A coluna foi preparada com camadas seqüenciais de 1g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anidro (ativado por 12 horas em estufa a 50°C), 1 cm de agulhas de cobre, 3,2g de Sílica (5% desativada), 1,8g de Alumina (2% desativada) e nova camada de 1g de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e a fase móvel utilizada para a extração dos Hidrocarbonetos saturados foi composta por 20 ml de hexano (UNEP, 1992). O controle gravimétrico da fração após evaporação dos solvente gerou o teor de alifáticos totais.

A identificação dos n-alcenos foi feita por cromatografia gasosa, em Cromatógrafo East & West Analytical Instruments, Inc, modelo GC-4000, com coluna HP5 (30m x 0,25mm x 0,25µm) e o padrão comparativo para hidrocarbonetos saturados (C8 à C40) em concentração 40mg.L<sup>-1</sup> em n-hexano da Fluka Analytical. As amostras foram dissolvidas em 500µL de Diclorometano (DMC), sendo injetados 2µL em splitless, no cromatógrafo. O método programado foi definido com temperatura inicial da coluna em 50°C, mantido durante 5 minutos, e rampa com elevação de 8°C a cada 5 minutos. O tempo total de corrida foi estabelecido em 70 minutos.

Para determinação do rendimento da extração, uma massa de 20g de sedimento com adição de 200µL padrão de n-alcenos pares em concentração 50mg.L<sup>-1</sup> em n-heptano da Fluka Analytical foi extraída. Em um balão volumétrico de 1mL adicionou-se a mesma quantidade da fortificação e avolumou-se. Depois de recolhida a fração de hidrocarbonetos alifáticos, a mesma foi transferida a um balão de 1 mL e avolumada. Para os cálculos de rendimento descontou-se a concentração de n-alcenos naturais do sedimento fortificado.

Os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) foram realizados a partir de leituras do branco da amostra no cromatógrafo, que foram preparados nas mesmas condições das amostras. O LQ foi calculado como sendo a média do branco mais dez vezes o desvio padrão e LD como três vezes o desvio padrão do branco mais a média do branco. (IUPAC 1997).

O índice de preferência de carbono (IPC) (Commendatore & Esteves, 2004; Calva et al, 2005;.. Mille et al, 2007) foi determinado segundo equação abaixo:

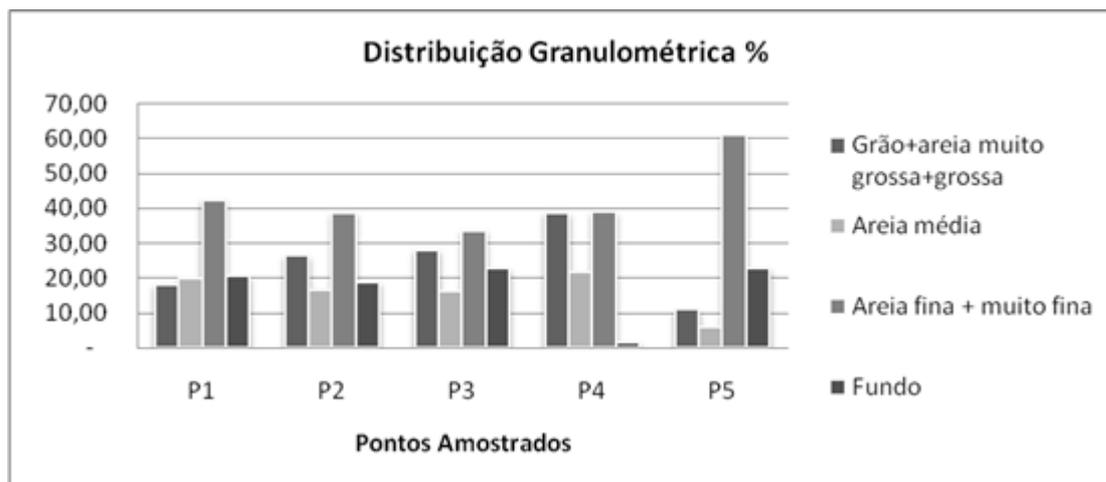
$$IPC = \frac{1}{2} \left[ \frac{C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}}{C_{24} + C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32}} \right] + \left[ \frac{C_{25} + C_{27} + C_{29} + C_{31} + C_{33}}{C_{26} + C_{28} + C_{30} + C_{32} + C_{34}} \right]$$

A razão terrígeno /aquático o (RTA) (Mille et al., 2007) foi determinada segundo a equação:

$$RTA = \left[ \frac{C_{27} + C_{29} + C_{31}}{C_{15} + C_{17} + C_{19}} \right]$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 (anteriormente apresentada) e a Figura 1 apresentam dados do estudo preliminar da caracterização dos sedimentos e coluna d'água nos pontos amostrados.

**Figura 2** - Distribuição granulométrica do sedimento nos pontos estudados.

O Ponto 1, 2 e 5 (P1, P2 e P5) apresentaram os maiores valores de matéria orgânica e a granulometria mais fina foi predominante em todos os pontos amostrados, podendo indicar alto potencial para acumulação de poluentes. A profundidade do corpo hídrico possui características semelhantes nos pontos P1, P2 e P3.

A Tabela 2 apresenta as figuras de mérito do estudo. O coeficiente de correlação linear ( $r$ ) variou entre 0,9955 a 0,9999, sendo que todas as curvas obedeceram ao índice de confiabilidade de 95%. Os limites de detecção (LD) e de quantificação (LQ) tiveram uma variação de 0,67 – 1,61  $\mu\text{g kg}^{-1}$  e 1,16 – 2,78  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , respectivamente.

A recuperação média dos  $n$ -alcanos pares foi de 61,98%, variando entre 26,37 – 81,05%. Com exceção do  $n\text{C}10$  todos os demais apresentaram o nível de confiabilidade proposto por Sauer e Boehm (1995), que está entre 40 e 125 % da quantidade original do padrão utilizado.

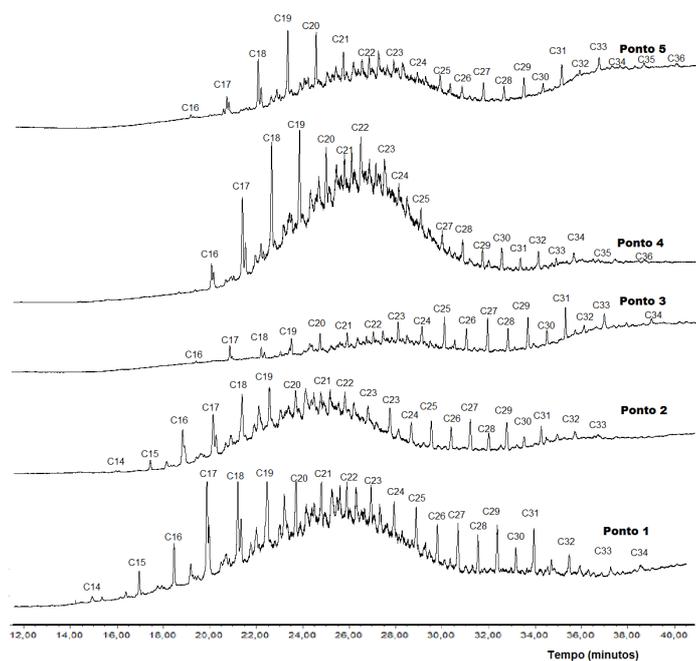
**Tabela 2** - Figuras de mérito das análises cromatográficas.

Y=ax±b					
Componente	a	B	r	LD $\mu\text{g Kg}^{-1}$	LQ $\mu\text{g Kg}^{-1}$
C11	1246,70	31,39	0,9997	0,81	1,39
C12	1286,01	46,41	0,9999	0,83	1,44
C13	1281,61	50,20	0,9998	0,84	1,46
C14	1255,27	101,84	0,9998	0,73	1,25
C15	1275,29	78,60	0,9998	0,73	1,25
C16	1272,68	81,94	0,9997	0,67	1,16
C17	1296,61	93,60	0,9997	0,73	1,27

C18	1273,37	73,61	0.9998	0,75	1,30
C19	1252,54	63,33	0.9998	0,77	1,33
C20	1227,42	51,69	0.9998	0,73	1,25
C21	1393,28	57,33	0.9997	0,70	1,20
C22	1253,52	38,41	0.9998	0,77	1,33
C23	1216,33	65,67	0.9996	0,79	1,37
C24	1240,90	5,56	0.9998	0,85	1,47
C25	1206,25	18,49	0.9997	0,77	1,33
C26	1211,42	30,53	0,9996	0,87	1,51
C27	1192,84	-61,67	0.9994	0,96	1,66
C28	1158,13	-65,26	0.9992	0,97	1,67
C29	1160,09	-62,12	0.9991	0,94	1,62
C30	1171,18	-103,40	0.9993	1,33	2,30
C31	1094,24	-102,37	0.9990	1,42	2,46
C32	1134,11	-81,79	0.9993	1,34	2,32
C33	1095,66	-107,09	0.9970	0,85	1,47
C34	1074,29	-27,64	0.9986	1,21	2,09
C35	1016,02	-99,79	0.9978	0,95	1,65
C36	1147,57	-200,68	0.9978	1,61	2,78
C37	1012,29	-72,52	0.9991	0,91	1,57
C38	1034,62	-109,28	0.9985	0,93	1,61

LD - limite de detecção, LQ - limite de quantificação a-coeficiente linear, b-coeficiente de correlação.

As concentrações, distribuição e condições analíticas de n-alcenos no sedimento estudado pode/m ser observada na Figura 2 e Tabelas 3 e 4.



**Tabela 3**

n-Alcanos	Rendimento %
C10	26,37 ± 10,78
C12	43,13 ± 02,62
C14	58,45 ± 04,86
C16	60,03 ± 07,17
C18	61,78 ± 10,70
C20	62,81 ± 18,95
C22	69,93 ± 09,83
C24	68,38 ± 21,91
C26	63,46 ± 27,07
C28	79,89 ± 12,98
C30	75,16 ± 07,97
C32	80,97 ± 09,43
C34	75,88 ± 17,12
C36	81,05 ± 20,21
C38	62,83 ± 07,89
C40	73,48 ± 04,57

Rendimento % + CV

**Tabela 4**

Componente	P1	P2	P3	P4	P5
C11	7,1 ± 25,8	11,7±19,1	2,7±28,5	nd	nd
C12	17,4 ± 19,9	nd	nd	Nd	nd
C13	25,1 ± 4,9	nd	nd	Nd	nd
C14	307,8 ± 5,2	119,9±5,6	<LQ	Nd	<LQ
C15	267,1±27,5	54,5±15,4	<LQ	2,2±18,1	<LQ
C16	218,4±29,1	46,9±25,7	1,8±23,6	28,8±3,2	8,4±17,9
C17	993,9±29,3	291,28±7,71	51,21±24,64	22,54±17,06	49,43±23,98
C18	886,4±20,7	299,87±17,44	39,93±17,96	203,01±10,45	7,20±17,91
C19	688,5±26,9	656,5±26,2	31,8±26,7	240,1±1,1	222,9±10,8
C20	340,1±23,3	213,7±14,3	62,4±7,6	178,7±17,9	285,6±23,9
C21	292,7±31,8	97,7±27,9	43,9±15,9	101,5±6,9	175,0±12,4
C22	210,4±24,9	126,7±23,1	42,6±29,4	51,9±25,2	44,1±2,9
C23	317,9±9,5	98,1±0,4	22,5±26,9	55,4±22,7	71,8±22,5
C24	282,9±10,6	182,3±29,9	72,8±13,2	58,8±29,9	37,5±20,5
C25	326,6±16,9	162,9±15,4	113,2±18,2	96,9±5,8	38,4±7,9
C26	318,5±8,1	184,9±3,3	108,6±9,6	91,4±29,5	85,9±9,8
C27	334,1±20,9	169,1±19,6	94,1±16,2	84,9±57,7	98,8±0,4
C28	252,6±14,8	235,1±29,3	109,2±18,4	64,9±23,4	101,5±2,6
C29	323,3±18,9	267,6±8,1	111,8±27,9	64,20±27,5	75,2±0,9
C30	260,9±20,0	213,7±13,5	103,9±26,8	52,0±17,6	42,1±2,8
C31	297,1±12,7	298,7±6,0	110,1±27,2	49,2±25,6	52,6±19,4
C32	96,0±13,0	198,7±8,9	37,4±19,9	21,3±5,7	39,6±5,8
C33	3,1±26,9	186,5±3,4	84,6±28,0	31,4±24,3	40,9±20,7
C34	1,0±25,1	287,1±13,0	19,4±25,9	9,0±20,1	49,18±7,0
C35	2,8±19,9	<LQ	29,8±23,2	9,5±22,6	nd

C36	Nd	nd	27,4±28,9	10,7±11,2	nd
C37	Nd	nd	17,1±29,9	Nd	nd
C38	Nd	nd	14,7±23,86	Nd	nd
Alifáticos	683.534,2	468.364,2	96.738,1	151.142,7	201.905,4
∑n-alcenos	7.072,3	4.105,3	1.350,8	1.529,1	1.560,5
Ímpar/par	1,2	0,9	0,8	0,9	1,0
Ímpar/par <nC21	1,2	1,1	0,8	0,8	1,2
Ímpar/par >nc22	1,2	0,8	0,8	1,0	0,8
IPC	1,3	1,5	1,5	1,8	1,4
RTA	0,4	1,0	6,1	0,7	0,3
LMW/HMW	1,0	0,5	0,1	0,8	1,1

IPC – Índice preferencial de carbono, RTA - Relação entre material terrígeno e aquático, LMH/HMW Relação entre hidrocarbonetos de alta e baixa massa molecular, Nd – Não detectado, LQ – Limite de quantificação

O sedimento estudado apresentou n-alcenos de nC11 a nC38, com destaque para cadeias de nC12 a nC34. A concentração de n-alcenos totais nos pontos amostrados, como visível na Tabela 4, variou de 1.350,86 a 7.072,33  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , sendo que o maior valor de n-alcenos está no Ponto 1. Os valores encontrados condizem com estudos realizados próximo ao local, em destaque Medeiros, et. al (2005).

Todos os pontos estudados apresentaram cadeias carbônicas compreendidas entre nC14 - nC34 com ausência de dominância ímpar/par. Essa é uma característica comum de sedimentos contaminados por derivados por petróleo, e além disso, todos os pontos, com exceção do ponto P3, apresentaram cadeias dominantes compreendidas entre nC17 – nC19. Esse comportamento representa tanto a origem de hidrocarbonetos derivada de algas e/ou fitoplâncton, como contaminação por óleo combustível, já que este apresenta em sua constituição n-alcenos variando entre nC16 – nC20. Dessa forma, já se pode notar a presença de mais de uma fonte de hidrocarbonetos no ambiente estudado, com destaque a fontes antropogênicas devido a combinação de fatores.

A origem antropogênica dos n-alcenos pode ser detectada pela presença e concentração da mistura complexa não resolvida, caracterizada pela elevação da linha base dos fragmentos obtidos. Todos os pontos amostrados apresentaram MCNR indicando a presença de resíduos de óleo bruto intemperizado e/ou biodegradado por microorganismos. A presença de MCNR com rampa unimodal (Figura 3) foi característica marcante na região de estudo, indicando existência de resíduo de óleo bruto degradado por microorganismos. A ausência de uma rampa bimodal aponta ausência de contaminação por óleos lubrificantes (CELINO, et. al, 2008).

A relação entre o material terrígeno e aquático (RTA) indica origem terrestre dos hidrocarbonetos no Ponto 3. O valor para este indicador no local foi de 6,12 (Tabela 3), além disso, apresentou dominância de cadeias de 23 a 33 átomos de carbono, comportamento esse, característico de ceras cuticulares derivados de plantas superiores. O ponto 3 apresentou uma MCNR menos pronunciada que as demais, e essa característica está relacionada a presença de matéria orgânica derivada de plantas terrestres, indicando grau acentuado de sedimentação oriunda de processos erosivos e assoreamento. Os demais pontos apresentaram maior predominância de n-alcenos leves com RTA próximo de 1, o que indica que os mesmos não apresentam prioritariamente hidrocarbonetos de origem terrestre.

O IPC de todos os pontos apresentou-se próximo de 1, indicando uma ausência de dominância ímpar/par. Na faixa que engloba o nC14 ao nC21 a relação ímpar/par variou entre 0,88 e 1,29, o que indica homogeneidade entre as cadeias e é inferida pequena contribuição de derivados de óleo. A relação da distribuição de n-alcenos baseada na distribuição de HC de alta e baixa massa molar (LMW/HMW) proposta por o Wang et al., (2006) aplicada a esse estudo indicam tendência dos pontos P1, P2 e P5 em possuir origem planctônica ou por derivados de petróleo. O ponto P1, apresenta ainda, dominância do nC17, que segundo Commendatore, et al.,(2004) está associado a presença de diferentes tipos de algas, causada pelo aporte de esgoto doméstico.

O teor de alifáticos totais variou de 96.738,12 a 683.534,1  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ . Valores em torno de 10.000  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  indicam sedimentos estuarinos livres de contaminação antropogênica (UNEP, 1991) níveis ultrapassados por todos os pontos analisados na região, sendo que o P1 apresenta concentração acima de 500.000  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , que de acordo com Portz, (2005) indica contaminação crônica por óleo.

É perceptível que as concentrações de alifáticos e n-alcenos totais do P1, localizado na desembocadura do canal São Gonçalo, são de uma grandeza superior aos demais pontos. Muito embora toda a região apresente indicativos de contaminação antropogênica, dada principalmente pela relação ímpar/par e presença da MCNR, nota-se que o aporte de hidrocarbonetos apresenta comportamento de dispersão ao longo da laguna. Os pontos P1 e P2 recebem maior influência de fontes oriundas do canal São Gonçalo, enquanto que os demais pontos são mais afetados pela hidrodinâmica local. Estudos mais recentes confirma a carga de hidrocarbonetos (HALL et. al., 2016; SANCHES FILHO et . al., 2017) e outros contaminantes (Valadão et . al., 2016), recebida e transportada transportada pelo canal São Gonçalo, sendo a região estuarina da Laguna dos Patos o corpo receptor.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A identificação das fontes de n-alcanos para a região da Barra do Laranjal é extremamente complexa em virtude da diversa gama de atividades antropogênicas (atividade de pesca e porto, efluentes urbanos e industriais e assoreamento) e da dinâmica local que mistura os mesmos. Além das fontes predominantes existe, em cada ponto amostrado, uma evidente mistura de contribuições antrópicas e naturais.

As características apresentadas pelos pontos amostrais apontam predominância da origem antrópica dos hidrocarbonetos, oriundos tanto de efluentes domésticos e industriais carreados pelo canal São Gonçalo, como resíduos de combustíveis fósseis provenientes da atividade de embarcações locais. A contaminação crônica por derivados de petróleo aponta comprometimento da qualidade ambiental do local que pode afetar a vida aquática, através da perda da biodiversidade, além disso, pode indicar alerta da situação ambiental do local, principalmente por este estar situado em uma área prioritária para conservação.

## REFERÊNCIAS

- ARDUIM, Júlia; HACKBART, Helen Cristina dos Santos; AMARAL, Maria Alice Farias da Silva; SANCHES FILHO, Pedro José. Otimização de metodologia para análise de hidrocarbonetos em sedimentos lagunares. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 10, n. 3, p. 165-178, 17 jul. 2019.
- BARCELLOS, R. L. 2005. Distribuição da matéria orgânica sedimentar e o processo sedimentar atual no Sistema Estuarino-Lagunar de Cananéia-Iguape (SP). Instituto Oceanográfico. São Paulo, Universidade de São Paulo. Tese de Doutorado 2v.
- BOULOUBASSI, I.; SALIOT, A.; 1993. Investigation of anthropogenic and natural organic inputs in estuarine sediments using hydrocarbon markers (NAH, LAB, PAH). **Oceanologica Acta** **16**, 145-161
- BOURBONNIERE, R.A.; MEYERS, P.A.; 1996. Sedimentary geolipid records of historical changes in the watersheds and productivities of Lakes Ontario and Erie *Limnology and Oceanography* **41**, 352-359
- CALDAS, Josie Schwartz; SANCHES FILHO, Pedro José. Determinação de Cu, Pb e Zn no sedimento da Região do Pontal da Barra, Laranjal (Laguna dos Patos, Pelotas – RS, Brasil). **Brazilian Journal Of Aquatic Science And Technology**, v. 17, n. 1, p. 13, 10 maio 2013. Editora UNIVALI. <http://dx.doi.org/10.14210/bjast.v17n1.p13-18>.
- CALVA, L.G.; BOTELLO, A.V.; VÉLEZ, G.P. 2005. Composición de hidrocarburos alifáticos en sedimentos de la Laguna Sontecomapan, VER., México. **Hidrobiológica**. **15**(1): 97-108.
- CELINO, L.L.; VEIGA, I.G.; TRIGÜIS, J.A.; QUEIROZ, A.F.S. 2008. Fonte e distribuição de hidrocarbonetos do petróleo nos sedimentos da Baía de todos os Santos, Bahia. **Braz. J. Aquat. Sci. Technol**, **12**(1):31-38.

COMMENDATORE, M.G.; ESTEVES, J. L. 2004. Natural and anthropogenic hydrocarbons in sediments from the Chubut River (Patagonia, Argentina). **Mar. Pollut. Bull.** 48(9-10): 910-918.

EPA - United States Environmental Protection Agency. 1996. Method 3550- Ultrassom Extraction, US Environmental Protection Agency, Washington, DC. epa.gov

GAMBOA, A. C.; SANTANA, M. M.; GONZÁLEZ, G. J. G.; NAVARRO, M. E. E.; SALAZAR, I. H. E.; GARCÍA, E. L.. Identificación de biomarcadores saturados en un carbón bituminoso tratado con ácido y un solvente no convencional. **Revista Colombiana de Química**, v. 48, n. 1, p. 35-42, 1 jan. 2019. Universidad Nacional de Colombia. <http://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.73675>.

GOGOU, A.; BOULOUBASSI, I. & STEPHANOU, E.G. 2000. Marine organic geochemistry of the Eastern Mediterranean: Aliphatic and polyaromatic hydro-carbons in Cretan Sea Surficial sediments. **Mar. Chem.** 68 (4): 265-282.

HALL, M. ; MONTENEGRO, G. O. ; BETEMPS, G. R. ; VAZ, B. S. ; SANCHES FILHO, P.J. Polycyclic aromatic hydrocarbon determination (PAHs) transported by storm water drainage in the Pelotas region and its levels in São Gonçalo Channel. **Chimica oggi-chemistry today**, v. 34, p. 38-43, 2016.

IUPAC. Compendium of Chemical Terminology 2, Edition 1997.

MILLE, G.; ASIA, L.; GIULIANO, M.; MALLERET, L.; DOUMENQ, P. 2007. Hydrocarbons in coastal sediments from the Mediterranean sea (Gulf of Fos area, France). **Mar. Pollut. Bull.** 54(5) : 566-575.

MIRLEAN, N.; ANDRUS, V.E.; BAISCH, P. 2003. Mercury pollution sources in sediments of Patos Lagoon Estuary, Southern Brazil. **Mar. Pollut. Bull.** 46(3) : 331-334.

OLIVEIRA, G. M. T. S. de; OLIVEIRA, E. S. de; SANTOS, M.de L. S.; MELO, N. F. A. C. de; KRAG, M. N. Concentrações de metais pesados nos sedimentos do lago Água Preta (Pará, Brasil). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 599-605, jun. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018152875>.

PORTZ, L.C. 2006. Avaliação da contaminação por hidrocarbonetos em amostras ambientais do estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil. RG, Brasil Fundação Universidade federal de Rio Grande.

SANCHES FILHO. P. J.; BÖHM. E. M.; BÖHM. G. M.; MONTENEGRO. G. O.; SILVEIRA. L. A.; BETEMPS. G. R.. Determination of hydrocarbons transported by urban runoff in sediments of São Gonçalo Channel (Pelotas–RS. Brazil). **Marine Pollution Bulletin.** v. 114. n. 2. p. 1088-1095. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.10.024>

SANCHES FILHO, P. J.; MESQUITA, G. O.; 2018. Determinação de hidrocarbonetos em sedimentos de canais de drenagem pluvial Pelotas/RS. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.9, n.3, p.38-49. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.003.000>

SCHWINGEL, A.; SPERB, R. M.; VELASCO, G. Geoespacialização da atividade pesqueira no estuário da Lagoa dos Patos, RS, Brasil / Geospacialization of the fishing activity in the estuary of Patos Lagoon, RS, Brazil. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 4030-4050, 2020.

SELMO, F.S; ASMUS, M.L 2005 Analise ambiental da ocupação urbana do pontal da barra. **Cadernos de Ecologia aquática.** V1.2

SOUZA, C.S; PESSOA NETO, A.R; SANTOS, V.L.C; DAMASCENO, A. 2008 Distribuição dos teores de n-alcenos nos sedimentos da região oceânica do atlântico sul, costa brasileira, entre Salvador (BA) e Rio de Janeiro (RJ). *Diálogos & Ciência - Revista da Rede de Ensino FTC*. Ano II, n. 7

SUGUIO, K., 1973, *Introdução à sedimentologia*, São Paulo, 317p

TEDESCO, M. J, GIANELLO, C, BISSANI, C. A., BOHNEN, H. E VOLKWEISS, S. J. 1995. Análises de solo, plantas e outros materiais. *Boletim técnico nº5*, 2 ed. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

UNEP - United Nations Environment Programme. 1992. Determination of petroleum hydrocarbons in sediments. *References Methods for Marine Pollution studies*.

VALADÃO, LIDIANE SCHMALFUSS; GARCIA, JOHN FELIPE CRUZ ; Filho, Pedro José Sanches ; TABORDA PARODES PINTO, ANE MARTIELE . Determinação de elementos traço no sedimento do canal São Gonçalo, Pelotas, Rio Grande do Sul. *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, v. 7, p. 210, 2016.

VOLKMAN, J.K.; HOSTETTLER, F.D.; NEIL, G.; BAVOR Jr, H.J. 1992. Identification of natural, anthropogenic and petroleum hydrocarbons in aquatic sediments. *The Sci. of the Total Environ.* 112(2-3): 203-219.

WANG, X-C., SUN, S., MA, H.Q., LIU, Y. 2006. Sources and distribution of aliphatic and polyaromatic hydrocarbons in sediments of Jiaozhou Bay, Qingdao, China. *Marine Pollution Bulletin* 52, 129-138.

WU, Y.; ZHANG, J.; MI, T.Z.; LI, B. 2001. Occurrence of n-alkanes and polycyclic aromatic hydrocarbons in the core sediments of the Yellow Sea. *Mar. Chem.* 76(1-2): 1-15.

VENZKE, Tiago Schuch Lemos; MAURÍCIO, Giovanni Nachtigall; MATZENAUER, William. OCORRÊNCIA E DISTRIBUIÇÃO DA FLORA AMEAÇADA DE EXTINÇÃO NO PONTAL DA BARRA, PELOTAS (RS): espécies arbóreas e arbustivas / occurrence and distribution of threatened flora species at pontal da barra, pelotas (rs). ***Geographia Meridionalis***, v. 4, n. 1, p. 29, 26 jul. 2018. Universidade Federal de Pelotas. <http://dx.doi.org/10.15210/gm.v4i1.13445>.

## CAPÍTULO 5

### APLICAÇÕES DO SENSORIAMENTO REMOTO NO MONITORAMENTO DOS MANANCIAS SUPERFICIAIS

*Bruna Moreira Sell*

*Emanuele Baifus Manke*

*Priscila dos Santos Priebe*

#### RESUMO

A gestão eficiente dos recursos hídricos enfrenta grandes desafios no Brasil, devido as suas dimensões continentais, sendo fundamental o conhecimento dos diferentes usos dos ecossistemas para balanço entre disponibilidade e a qualidade da água. As imagens obtidas remotamente são importantes ferramentas, que permitem acompanhar, monitorar, bem como são utilizadas no planejamento de formas de recuperação e preservação ambiental. Desta forma, o objetivo deste trabalho é apresentar um panorama das aplicações do sensoriamento remoto no monitoramento da quantidade e qualidade dos mananciais superficiais no Brasil, o qual possa ser utilizado como ferramenta na gestão de recursos hídricos. O sensoriamento remoto tem grande potencial para auxiliar no monitoramento da qualidade e da quantidade das águas no Brasil, superando as limitações dos métodos convencionais *in situ*, visto que as imagens de satélite proporcionam informações em diferentes escalas espaciais e temporais. As técnicas de sensoriamento remoto demonstram resultados satisfatórios na maioria dos estudos e podem ser utilizadas como ferramenta na gestão de recursos hídricos, sendo que podem ser incorporados por órgãos públicos e também por empresas para tomada de decisão quanto a medidas de manejo e conservação do solo e da água e na recuperação de áreas degradadas.

**Palavras-chave:** Eutrofização. Qualidade da água. Sedimentos.

## INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural imprescindível para o desenvolvimento e manutenção da vida, além de ser um insumo indispensável para diversos processos produtivos. A Lei Nº 9.433, conhecida como a Lei das Águas, define esta como um recurso natural finito, dotado de valor econômico, sendo que sua gestão deve proporcionar múltiplos usos (BRASIL, 1997).

A gestão eficiente dos recursos hídricos enfrenta grandes desafios no Brasil, devido as suas dimensões continentais, que proporcionam uma imensa diversidade em termos de biomas, climas, faunas, floras, usos e ocupação, densidade populacional e tradições culturais. A quantidade e qualidade de água disponível em cada região são influenciadas principalmente por suas características. Desta forma, o conhecimento dos diferentes usos dos ecossistemas é preponderante para que o balanço entre disponibilidade e demanda seja equalizado.

A distribuição espaço-temporal da precipitação governa as taxas de disponibilidade hídrica em todo o país. No entanto, esta também é fortemente afetada pelas taxas de evaporação e assoreamento, as quais podem ser modificadas por ações antrópicas nos ecossistemas (ARAÚJO, GÜNTNER e BRONSTERT, 2006).

Em relação à qualidade da água, a legislação estabelece padrões que devem ser mantidos de acordo com a classe de uso em que este está enquadrado. No entanto, é evidente que a manutenção da qualidade da água dos ecossistemas aquáticos é fundamental para preservação da diversidade de espécies, mesmo que o manancial hídrico não tenha passado pelo processo de enquadramento.

O monitoramento dos parâmetros de qualidade de água, realizados da forma convencional do modo *in situ*, demanda grandes investimentos e, de acordo com Barbosa, Novo e Martins (2019), possui limitações como: i) custo e tempo para realização das análises laboratoriais; ii) variações espaço-temporais (nem sempre são registradas em amostras pontuais); iii) inviabilidade do monitoramento contínuo em regiões remotas ou de difícil acesso. Neste contexto, o sensoriamento remoto surge como uma fonte importante de apoio de outras fontes de dados.

O uso de imagens obtidas remotamente por sensores ativos e passivos tem sido observado em diversas pesquisas. Estas imagens são importantes ferramentas, que permitem acompanhar, monitorar, bem como são utilizadas no planejamento de formas de recuperação e preservação ambiental.

Portanto, o objetivo deste trabalho é apresentar um panorama das aplicações do sensoriamento remoto no monitoramento da quantidade e qualidade dos mananciais superficiais no Brasil, o qual possa ser utilizado como ferramenta na gestão de recursos hídricos.

## **METODOLOGIA**

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica de natureza qualitativa. Esta pesquisa bibliográfica baseou-se em materiais como: publicações em periódicos e artigos científicos, dissertações, teses, entre outros disponíveis em bases de dados na *internet* (como *Google Academic*, *SciELO*, *Scienc Direct*). Posteriormente, os dados coletados foram sistematizados a fim de construir uma sequência de categorias descritivas diversas. Assim, foi possível a associação entre a reflexão dos autores e as considerações existentes no referencial teórico pertinente.

## **RESULTADOS**

### **SENSORIAMENTO REMOTO**

Classicamente, a definição conferida ao sensoriamento remoto refere-se ao conjunto de técnicas que se destinam a obter informações de objetos, sem que haja o contato físico com os mesmos (NOVO; PONZONI, 2001). Com um teor mais técnico, a conceitualização dada por Meneses e Almeida (2012) diz que o sensoriamento remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres.

As primeiras plataformas experimentais espaciais que permitiram atividades de sensoriamento remoto foram os satélites meteorológicos da série TIROS (Television Infrared Observation Sattelite) lançado na década de 1960 pela NASA (National Aeronautics and Space Administration) (NASA, 2016). O programa alcançou um êxito tão grande que, após comprovada sua operacionalidade e as devidas adaptações, foi instituído um sistema de observação diária do clima mundial sob a administração da NOAA (National Oceanographic Atmospheric Administration).

No ano de 1972 foi lançado pela NASA o primeiro satélite de observação da Terra RTS-1 (Earth Resources Technology Satellite), o qual posteriormente recebeu a denominação de Landsat-1 (USGS, 2021). O Landsat 1 foi sucedido por uma série de satélites, sendo que no ano de 2013 lançou-se o oitavo. Este apresenta componentes ópticos mais acurados, sistemas de sensores com melhores resoluções espacial, temporal, radiométrica e espectral, que decorrem das demandas dos usuários dos produtos. Para maior consolidação e diferenciação entre as resoluções apontadas, recomenda-se a leitura do material didático de Almeida e Ferreira (2012).

É previsto que no ano de 2021 seja lançado o satélite Landsat 9. Borges, Pachêco e Santos (2015) já destacavam que a continuidade do programa Landsat possibilitaria cruzar dados de mais de 40 anos, permitindo análises temporais de grande valia, principalmente, em estudos ambientais.

No cenário nacional, o Brasil passou a investir no desenvolvimento de satélites de sensoriamento remoto no ano de 1988, por meio de um programa de construção de dois satélites avançados de sensoriamento remoto em parceria com o governo chinês denominado Programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite). O acordo binacional firmado envolveu o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e a CAST (Academia Chinesa de Tecnologia Espacial). O programa teve continuidade, e além dos dois satélites inicialmente previstos CBERS-1 e CBERS-2 foram projetados, com modificações nas propriedades e tipos de sensores, o CBERS-2B, CBERS-3, CBERS-4 e CBERS-4A, sendo que estes dois últimos se encontram ativos (INPE, 2018).

Com as experiências acumuladas, o Brasil lançou no ano de 2021 o primeiro satélite de observação da Terra completamente projetado, integrado, testado e operado pelo Brasil, o Amazonia 1. Segundo o INPE (2021b), executor do projeto, o Amazonia 1 fornecerá imagens para o monitoramento ambiental e da agricultura em todo o território brasileiro com uma alta taxa de revisita, auxiliando no monitoramento da região costeira, reservatórios de água, desastres ambientais, entre outras aplicações.

De modo geral, há uma grande variedade de satélites que fazem a aquisição de imagens de sensoriamento remoto. Estas podem ser obtidas, de forma gratuita, no catálogo da Divisão de Geração de Imagens (DIDGI), que faz parte da Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT) do INPE (2021a), que contém os registros dos satélites AQUA, CBERS-4, DEIMOS, LANDSAT-8, NOAA-20, RESOURCESAT-1, RESOURCESAT-2, S-NPP, TERRA e UK-DMC2.

A popularização e disseminação das imagens adquiridas por aeronaves e satélites é atribuída por Melo *et al.* (2021) aos avanços tecnológicos, impulsionado pelos baixos custos. Ao passo que para Borges, Pachêco e Santos (2015) a evolução do sensoriamento remoto ao longo das últimas quatro décadas está relacionada com sensores cada vez mais confiáveis e temáticos. Em adendo, Novo e Ponzoni (2001) associam o uso de sistemas orbitais à necessidade de informações globais e sinópticas a pequenos intervalos de revisita em um número grande de disciplinas ligadas às ciências ambientais.

As imagens de satélites, ao recobrirem sucessivas vezes a superfície terrestre, possibilitam o estudo e o monitoramento dos fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente (FLORENZANO, 2011). Os impactos causados pela ação humana no meio ambiente, também podem ser monitorados e estudados através das imagens obtidas remotamente, como é caso da poluição hídrica, em que é possível detectar lançamentos de efluentes nas águas e através do uso e ocupação do solo identificar as fontes de poluição.

A característica multitemporal das imagens de satélites permite monitorar a variação da lâmina de água em lagos, rios e reservatórios (FLORENZANO, 2011) e calcular as áreas desmatadas, que podem contribuir para a erosão do solo e, conseqüentemente, para o assoreamento dos cursos d'água e reservatórios artificiais.

## **SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS**

Os corpos hídricos possuem elementos que oferecem grande potencial para aplicação de técnicas de sensoriamento remoto. Deste modo, é possível desenvolver análises de dados em importantes trechos de bacias hidrográficas através de mapas temáticos, contemplando o uso e ocupação do solo e distribuição espaço-temporal (LIMA *et al.*, 2017).

Toledo, Araújo e Almeida (2014) realizaram uma análise exploratória para quantificar o número de reservatórios na bacia do reservatório de Orós, localizado no sudoeste do estado do Ceará. Os autores empregaram imagens do satélite LANDSAT 5 e por meio da técnica de classificação supervisionada aliada à correção manual, identificaram 4717 reservatórios ao longo da bacia. Os resultados foram validados por meio da comparação das áreas calculadas a partir da imagem de satélite com as dos 18 maiores reservatórios monitorados pela companhia de gestão dos recursos hídricos, no mesmo período, sendo obtido um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,99. Além disso, lançaram mão do índice

de diferenças de áreas normalizadas (NDAI - Normalized difference area index) e identificaram que a maior diferença implicava em erros de apenas 9% em termos de área.

Pontini e Coelho (2019) por meio do uso de geotecnologias, envolvendo a comparação temporal de fotografias aéreas com imagens de satélite Google Earth transformadas em mapas temáticos investigaram as alterações morfométricas do Rio Piума – ES. Estes constataram que ao longo dos 67 anos analisados a morfologia do rio e das áreas de várzea sofreram alterações drásticas, sendo em parte oriundas de gênese de dinâmicas naturais, mas sobremaneira por intervenção humana. Cabe destacar que neste curso d'água foram realizadas retificações no canal que resultaram no aumento da velocidade d'água e alteração da sua dinâmica hidrológica.

Em relação ao monitoramento da qualidade dos recursos hídricos a grande dimensão do território brasileiro acaba muitas vezes inviabilizando a amostragem por métodos tradicionais, seja por custos operacionais ou simplesmente por demandarem um tempo expressivo, desde a amostragem até a análise e processamento dos dados. Desta forma, o sensoriamento remoto cada vez mais vem tornando-se uma importante ferramenta de gestão (SILVA *et al.*, 2017).

De acordo com Escobar (2019), no que diz respeito à poluição hídrica, dois tipos se destacam: o assoreamento e a eutrofização. Frente ao exposto, Galo *et al* (2002) ressalta que imagens orbitais multiespectrais podem ser usadas tanto para mapear a dispersão espacial e estimar a área de ocorrência de macrófitas aquáticas, como para orientar a definição de pontos de amostragem *in loco*, visando à coleta e posterior análise da água e de sedimentos nos reservatórios.

Barreto *et al.* (2013) indicam que a eutrofização é um dos problemas de qualidade da água de maior importância na atualidade, e complementam que a proliferação acelerada de macrófitas aquáticas e algas podem produzir substâncias tóxicas nocivas à saúde.

Muitas investigações científicas se detiveram a avaliar a qualidade das águas por meio da identificação e acompanhamento de plumas de macrófitas com o emprego de imagens obtidas remotamente. Neste segmento, o trabalho desenvolvido por Novo *et al.* (2009) e Novo *et al.* (2010) comprovaram que o índice de vegetação tradicionalmente aplicados no estudo de ecossistemas terrestres, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), pode ser adaptado para o monitoramento do estado trófico de sistemas aquáticos, haja vista que os resultados obtidos indicaram que o mesmo foi sensível a presença de florações de clorofila nos corpos d'água.

Partindo deste preceito, Oliveira, Guasselli e Antunes (2012) concluíram que o sensoriamento remoto, por meio da geração de imagens NDVI, é uma ferramenta muito útil para mapear a presença ou não de florações de fitoplâncton em ambientes aquáticos, servindo assim, como uma ferramenta no auxílio do monitoramento da qualidade da água em diferentes escalas espaço-temporais.

Lima *et al.* (2017) adotaram imagens do satélite Landsat-8 para verificar a área ocupada por vegetação aquática e investigar a aplicabilidade do sensoriamento remoto na avaliação de plantas aquáticas em diferentes níveis de aquisição de dados entre os meses de julho e setembro de 2014 no açude de Muquêm, localizado no estado do Ceará. A partir das respostas espectrais dos alvos, se valendo da técnica do NDVI, os autores constataram uma redução no espelho da área ocupada por vegetação, passando de 37,62% para 30,21% no período avaliado. Os autores observaram ainda outra contribuição das imagens remotas processadas, utilizando o NDVI: identificação e mapeamento de diferentes estágios de vegetação em especial os estágios de senescência e decomposição.

Cabe destacar, que ao longo do levantamento das bibliografias direcionadas à avaliação da qualidade dos corpos d'água, uma expressiva parcela das investigações utilizou como área de estudo reservatórios de aproveitamentos hidrelétricos. Dentre as razões que justificam tal feito, Bezerra Júnior (2021) afirma que reservatórios se caracterizam como ambiente propício para a propagação de colônias de organismos fotossintéticos, em especial, quando a gestão e o gerenciamento são falhos, levando o sistema complexo e dinâmico do corpo hídrico a um quadro de desequilíbrio; culminando na necessidade de proceder seu mapeamento.

Bezerra Júnior (2021) utilizou imagens do satélite LANDSAT 8 e recorreu à classificação supervisionada no algoritmo Máxima Verossimilhança (MARVER) no SIG Qgis® 3.4 Madeira, para mapear as macrófitas aquáticas no reservatório 25 de Março. Os resultados mostraram que o reservatório é susceptível à propagação de macrófitas aquática, onde os valores de ocorrências do organismo representaram 64,353 ha (60,20%) da área total. O autor concluiu que a propagação de macrófitas aquáticas nas margens do reservatório é consequência direta dos múltiplos impactos de origem antropogênica e destacou a importância do uso das técnicas de sensoriamento remoto para a análise de macrófitas aquáticas e, assim, possibilitando atualizar a forma de gestão e de gerenciamento do reservatório.

Os sedimentos também são fontes de poluição dos mananciais hídricos, sendo que são, provavelmente, o mais significativo de todos os poluentes em termos de sua concentração na água, seus impactos no uso da água e seus efeitos no transporte de outros poluentes (BROOKS *et al.*, 1991 apud DEPINE *et al.*, 2011, MACHADO e VETTORAZZI, 2003), podendo carrear fertilizantes, pesticidas e outros compostos químicos.

Além disso, os sedimentos transportados pelos cursos d'água, decorrente de processos erosivos, são depositados no leito dos rios, quando não há energia suficiente para o seu transporte. A implantação de barragens nos cursos d'água, para a formação de reservatórios destinados aos diversos usos da água, propiciam o acúmulo de sedimentos, em virtude da redução da velocidade do escoamento, resultando, muitas vezes, no assoreamento deste reservatório.

Os impactos causados pela carga de sedimentos em reservatórios refletem na redução de sua capacidade e vida útil, no aumento do custo para a manutenção e tratamento de água, quando o reservatório é destinado ao consumo humano, razões pela qual motiva a elaboração de estudos orientados a tal temática.

Para Chelotti *et al.* (2019), o estudo de pequenos reservatórios com baixa concentração de sedimentos em suspensão ainda é um desafio para o sensoriamento remoto. No entanto, os resultados da pesquisa de Chelotti *et al.* (2019) demonstraram que o uso de dados orbitais complementa as informações da concentração de sedimentos em suspensão obtidas pelos métodos tradicionais de coleta e análise de qualidade da água em reservatórios com baixa concentração de sedimentos em suspensão. Os autores estimaram a concentração de sedimentos em suspensão a partir das propriedades óticas da água e de imagens orbitais dos sensores MODIS e Landsat 8.

Peixoto, Guasselli e Pereira Filho (2018) avaliaram o uso de imagens Landsat 8 (banda 4, com faixa espectral de 640 – 670 nm) para estimar a concentração de sedimentos em suspensão em três Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) em sequência no rio Ivaí, no Rio Grande do Sul. As imagens em reflectância disponibilizadas pela USGS foram comparadas com dados de total de sólidos em suspensão (TSS) coletados *in situ* e determinados em laboratório, através do modelo matemático exponencial que melhor representou o ajuste.

De acordo com os autores os valores estimados de TSS mostraram-se coerentes com os valores avaliados *in loco*, mesmo apresentando algumas discordâncias em determinados meses, as quais estão relacionadas com a variabilidade temporal e espacial

associada com a pluma d'água e com a vazão do rio. No entanto, as imagens Landsat 8 mostraram um bom desempenho para a caracterização da deposição dos sedimentos em reservatórios de PCHs em sequência no rio Ivaí.

Pinto *et al.* (2014) monitoraram o fluxo de entrada de sedimentos no braço do Rio Indaiá no reservatório Três Marias, em Minas Gerais, com base em imagens do sensor MODIS (Terra e Aqua). A estimativa da reflectância da superfície foi calculada através do algoritmo MOD3R. Os resultados apontaram uma forte relação entre as respostas das imagens de satélite e os dados medidos em campo de descarga sólida (sedimento em suspensão e vazão total) da estação de monitoramento do Rio Indaiá.

Os autores também concluíram que os dados de reflectância das imagens MODIS podem ser usados como solução alternativa para monitorar alguns parâmetros de qualidade de água, como a concentração de sedimentos em braços de reservatórios permitindo, deste modo, uma análise temporal que extrapola a série histórica de descarga sólida disponível.

Albuquerque e Sakamoto (2015) destacam a importância do levantamento do uso, cobertura e de bacias hidrográficas para análises e avaliações das alterações ambientais, pois ocupar um determinado espaço sem planejamento pode resultar em uma enorme gama de impactos negativos, tanto ao meio ambiente, como aos próprios agentes modificadores do espaço.

Figur e Reis (2017) analisaram a qualidade da água nas nascentes da bacia hidrográfica do Rio Abaúna (Rio Grande do Sul) e a influência do uso e cobertura da terra. Ao integrar as análises de água e os usos da bacia hidrográfica, perceberam que a presença de floresta com 44,61% auxilia na manutenção a água da bacia hidrográfica conforme demonstraram os resultados dos parâmetros analisados. A área de floresta demonstrou ser importante para a contenção de materiais sólidos (10-240 mg/L). Em contrapartida, a lavoura e solo exposto presentes na área de estudo indicaram ser facilitadores para o aumento dos sedimentos em suspensão, conforme pode ser observado no resultado dos sedimentos em suspensão das nascentes na qual apresentaram maior proporção (710 mg/L).

Neste contexto, Pereira *et al.* (2016) analisaram a qualidade da água e classificaram a cobertura vegetal e o uso da terra do rio Peixe-Boi (Pará) por meio de uma imagem multiespectral de 2013 do satélite Resourcesat-1, sensor LISS III com 7 bits de resolução radiométrica e 23,5 m de resolução espacial das bandas espectrais (vermelho, infravermelho próximo, infravermelho médio). Os autores verificaram uma relação entre a

preservação da vegetação natural em áreas de preservação permanente e a qualidade da água na bacia hidrográfica, em períodos com e sem chuva. Estes constataram, por meio de amostragens *in loco*, que a condutividade apresentou valores bastante elevados, especialmente no período chuvoso, chegando a  $336 \mu\text{Scm}^{-1}$ , no rio Capanema, próximo a uma área desmatada de uma fazenda. Além disso, entre os pontos analisados os que apresentaram as piores qualidades durante período chuvoso estavam dentro das áreas classificadas como pastagem, podendo estar associado ao uso de fertilizantes e produtos químicos utilizados no plantio.

Assim, destaca-se a importância da proteção de áreas de preservação permanente, nascentes, áreas florestais, para que seja possível garantir a preservação da quantidade e qualidade da água, e conseqüentemente, o atendimento dos múltiplos usos da água.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensoriamento remoto tem grande potencial para auxiliar no monitoramento da qualidade e da quantidade das águas no Brasil, superando as limitações dos métodos convencionais *in situ*, visto que as imagens de satélite proporcionam informações em diferentes escalas espaciais e temporais.

As técnicas de sensoriamento remoto demonstram resultados satisfatórios na maioria dos estudos e podem ser utilizadas como ferramenta na gestão de recursos hídricos, sendo que podem ser incorporados por órgãos públicos e também por empresas para tomada de decisão quanto a medidas de manejo e conservação do solo e da água e na recuperação de áreas degradadas.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, L. B.; SAKAMOTO, A. Y. Análise ambiental e o sistema hidrográfico do córrego do porto, Três lagoas (MS) para fins de planejamento ambiental. **Rev. Geogr. Acad.**, v. 9, n. 1, p. 5-18, 2015.

ALMEIDA, F. C.; FERREIRA, D. A. C. **Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto Aplicado a Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2012. 91 p. Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/98>. Acesso em: 30 jun. 2021.

ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006. DOI 10.1623/hysj.51.1.157

BARBOSA, C. C. F.; NOVO, E. M. L. M.; MARTINS, V. S. **Introdução ao Sensoriamento Remoto de Sistemas Aquáticos - Princípios e aplicações**. 1. ed. São José dos Campos: INPE, 2019. 178 p.

BARRETO, L. V. *et al.* Eutrofização em Rios Brasileiros. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p. 2165-2179, 2013.

BEZERRA JÚNIOR, A. Monitoramento de Macrófitas Aquáticas no Reservatório 25 de Março, Município de Pau dos Ferros, Oeste Potiguar (RN/BR). **Geofronter**, Campo Grande, v. 7, p. 01-15, 2021.

BORGES, G. M.; PACHÊCO, A. P.; SANTOS, F. K. S. Sensoriamento Remoto: Avanços e Perspectivas. **Revista de Geografia**, Recife, v. 32, n. 2, p. 267-292, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229116>. Acesso em: 30 jun. 2021.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal, e altera o Art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, 9 jan. 1997. p.470. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.HTM](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.HTM)> Acesso em: 07 jul. 2021.

CHELOTTI, G. B. *et al.* Space-Temporal analysis of suspended sediment in low concentration reservoir by remote sensing. **RBRH**, v. 24, n. 17, p. 01-15, 2019. DOI 10.1590/2318-0331.241920180061

DEPINÉ, H. *et al.* Transporte de sedimentos em suspensão em áreas agrícolas em diferentes escalas espaciais. **RBRH**, v. 16, n. 1, p. 97-104, 2011.

ESCOBAR, M. C. S. B. Monitoramento das Feições do Lago da PCH Jatapu/RR. *In*: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, p. 3602-3605, 2019.

FIGUR, C.; REIS, J. T. A influência do uso e cobertura da terra nos parâmetros da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Abaúna, em Getúlio Vargas, RS. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 2, p. 352-365, 2017.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3. ed. ampl. e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

GALO, M. L. B. T. *et al.* Uso do Sensoriamento Remoto Orbital do Monitoramento da Dispersão de Macrófitas nos Reservatórios do Complexo Tietê. **Planta Daninha**, v. 20, p. 7-20, 2002.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo – Geração de Imagens**. 2021a. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>. Acessado em 10 jun. 2021.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **História**. 2018. Disponível em: <http://www.cbets.inpe.br/sobre/historia.php>. Acesso em: 30 jun. 2021.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Lançado com sucesso o Amazonia 1, primeiro satélite nacional de observação da Terra**. 2021b. Disponível em: [http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=5706](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=5706). Acesso em 02 jul. 2021.

LIMA, F. J. O. *et al.* Uso do Sensoriamento Remoto no Monitoramento de Plantas Aquáticas. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, Fortaleza, v. 11, n. 1, p. 49 - 56, 2017.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins, SP. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 27, n. 4, p. 735-741, 2003.

MELO, D. H. *et al.* Evolução da observação da terra por Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**. v. 2, n. 2, p. 002-024, 2021.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: UnB, 2012. 138 p.

NASA - National Aeronautics and Space Administration. **TIROS**. 2016. Disponível em: <https://science.nasa.gov/missions/tiros>. Acesso em: 29 jun. 2021.

NOVO, E. M. L. M.; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos: INPE, 2001.

NOVO, E. M. L. M. *et al.* Integração de dados do sistema automático de monitoramento de variáveis ambientais (SIMA) e de imagens orbitais na avaliação do estado trófico do Reservatório da UHE Funil. *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14., 2009, Natal. Anais [...]*. São José dos Campos: INPE, p. 4797-4804, 2009.

NOVO, E. M. L. M. *et al.* Integração de Dados do Sistema de Monitoramento Automático de Variáveis Ambientais (SIMA) e de Imagens Orbitais na Avaliação do Estado Trófico do Reservatório da UHE Funil. **Geografia**, Rio Claro, v. 35, n. 3, p. 641-660, 2010.

OLIVEIRA, L. C. B., GUASSELLI, L. A., ANTUNES, R. L. Z. Variação Espaço-Temporal de NDVI no Rio Madeira, na Área de Aproveitamento Hidrelétrico da UHE Santo Antônio – RO. **Revista GEONORTE**, v.2, n. 4, p. 1823 – 1832, 2012.

PEIXOTO, D. W. B.; GUASSELLI, L. A.; PEREIRA FILHO, W. Estimativa de concentração de sedimentos em suspensão a partir de imagens Landsat 8 em PCHs no Rio Ivaí-RS. **Revista Geociências**, v. 37, n. 1, p. 147-154, 2018.

PEREIRA, B. W. F. *et al.* Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Rev. Ambient. Água**, v. 11, n. 2, p. 472-485, 2016.

PINTO, C. E. T. *et al.* Uso de imagens MODIS no monitoramento do fluxo de sedimentos no reservatório de Três Marias. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.**, v. 18, n. 5, p. 507-516, 2014.

PONTINI, V. V.; COELHO, A. L. N. Alterações Morfológicas e Intervenções Antropogênicas no Rio Piúma (ES). *In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19., 2019, Santos. Anais [...]*. São José dos Campos: INPE, p. 82-85, 2019.

SILVA, E. J.; COELHO, F.; SILVA, W. P. Sensoriamento remoto no monitoramento da qualidade dos recursos hídricos. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, v. 12, n. 33, p. 121-130, 2017.

TOLEDO, C. E.; ARAÚJO, J. C.; ALMEIDA, C. L. The use of remote-sensing techniques to monitor dense reservoir networks in the Brazilian semiarid region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 10, p. 3683–3699, 2014. DOI 10.1080/01431161.2014.915593

USGS - United States Geological Survey. **Landsat Missions**. Disponível em: [https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/landsat-satellite-missions?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con). Acesso em: 29 jun. 2021.

## CAPÍTULO 6

### ESPECIAÇÃO QUÍMICA DE ELEMENTOS TRAÇO NO SEDIMENTO DA LAGUNA DOS PATOS – SACO DO LARANJAL – PELOTAS/RS

*Natanael Rodrigo Xavier Pires*

*Eduarda Medran Rangel*

*Pedro José Sanches Filho*

#### RESUMO

O objetivo deste estudo foi determinar as concentrações nas frações geoquímicas de Cr, Cu, Pb e Zn em sedimentos, coletados em abril de 2010 na região conhecida como Saco do Laranjal, na Laguna dos Patos. Nas frações < 63 µm do sedimento seco foi realizado uma extração sequencial pelo método de Tessier et al. (1979) que separa os elementos nas frações trocável, ligada a carbonatos, ligada a óxidos, ligada a matéria orgânica e a residual. As amostras de extrato diluídas foram lidas em cada fração, por espectrometria de absorção atômica de chama, sendo que o Zn apresentou a maior concentração total e uma forte associação à fração residual, verificando que os metais estão associados aos sedimentos de granulometria fina e a maiores teores de matéria orgânica. O Cr foi o metal que, de forma geral, está mais associado a sua forma biodisponível. Já o Cu foi detectado com baixas concentrações estando associado a fração residual. O Pb, mais ligado as frações trocável e inerte, obteve concentrações mais elevadas. Considerando a concentração total, os níveis de metais encontram-se abaixo dos índices do Guia de Qualidade dos Sedimentos Estuarinos do Canadá, indicando que a região não se encontra impactada por metais.

**Palavras-chave:** metais, estuário, absorção atômica.

#### INTRODUÇÃO

Localizada na planície costeira do Rio Grande do Sul, a Laguna dos Patos, com uma área de aproximadamente 10.221 Km<sup>2</sup>, é considerada uma das maiores lagunas do mundo. Na zona sul, situa-se a região conhecida como “Saco do Laranjal”, próximo da

cidade de Pelotas, um estuário que tem uma relevante importância econômica, turística e ambiental. A região é dividida nas praias do Pontal da Barra, do Laranjal, do Barro Duro, do Totó e Colônia Z-3.

A laguna dos Patos é um amplo sistema aquático, a circulação das águas desse estuário é determinada pela combinação de precipitações atmosféricas e pela direção dos ventos, Mirlean et. al, (2003).

Na região ocorrem alguns problemas decorrentes do crescimento desordenado da cidade e falhas de planejamento. Dentro do cenário urbano, a contaminação das águas ocorre pelo lançamento de efluentes e o manejo e destino final de resíduos. Por vezes, a Laguna dos Patos é a receptora de todo e qualquer insumo procedente dessas descargas, sendo a contaminação por metais uma das consequências sofridas (RAMB, 2003).

Os metais pesados representam problemas para o meio ambiente marinho e estuarino, já que apresentam ao mesmo tempo toxicidade, persistência e bioacumulação na cadeia alimentar, Lacerda e Marins (2006).

Quando a poluição por metais pesados atinge as águas, todo o ecossistema daquele local será contaminado, pois, através da água, os metais pesados poderão ser absorvidos pelas plantas, algas e microalgas que são a base de quase todas as cadeias alimentares, Alves (2002). Além disso, os sedimentos apresentam capacidade de acumular metais, como também de liberar metais para um sistema aquático. Assim, por causa de sua capacidade de reter metais, os sedimentos podem refletir a qualidade da água e registrar os efeitos de emissões antrópicas, Oliveira et. al. (2006). Através de mudanças nas características físico-químicas, os metais podem ser remobilizados para a coluna d'água, tornando-se disponíveis para a incorporação por organismos. Vários estudos têm demonstrado que a forma lábil ou biodisponível dos metais possui maior toxicidade do que a forma complexada por ligantes orgânicos ou adsorvida no material particulado, Torres et. al. (2008).

A disponibilidade dos metais bem como sua toxicidade depende, sobretudo, de suas formas químicas ao invés de sua forma total encontrada no ambiente, Sundaray et. al. (2011). Dessa forma, a toxicidade desses contaminantes não deve ser analisada apenas pela concentração total, pois a biodisponibilidade e os efeitos ecotoxicológicos dependem da forma química em que os metais se encontram, Alves (2002). Dessa forma, a especiação química assume uma importância em termos ambientais.

Especiação química, segundo Ure (1991) e Koumrouyan e Santana (2008), é definida por um processo ativo de identificação e quantificação das diferentes formas ou

fases de espécies definidas na qual um elemento ocorre em um material, ou a descrição das quantidades e tipos de espécies, formas ou fases presentes no material.

Os passos dos métodos de extração sequencial tentam imitar mudanças nas condições ambientais como acidificação, redução e oxidação. Em tais métodos, as frações são extraídas das amostras com soluções de polaridade crescente, sendo as primeiras frações obtidas consideradas as mais biodisponíveis, Bacon e Davidson (2008). No entanto, não há uma padronização dos métodos de extração sequencial, na literatura destacam-se o desenvolvido por Tessier et. al (1979) e pela BCR (Commission of the European Communities Bureau of Reference).

Devido a ausência de referências relacionadas a metais pesados na região, o estudo pioneiro de Betemps e Sanches (2011) contribuiu para a especificação de metais no presente trabalho. Dessa forma o objetivo do estudo foi determinar as diferentes formas em que os metais Cr, Cu, Pb e Zn podem estar associados no sedimento do Saco do Laranjal, aplicando o método da extração sequencial proposto por Tessier et al., com modificações. Assim, estimar o grau da contaminação deste compartimento ambiental através da distribuição entre as fases consideradas lábeis e inerte dos sedimentos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Local de estudo**

Selecionaram-se seis pontos de amostragem ao longo do Saco do Laranjal. Foi feita uma amostragem simples no mês de abril de 2010. O Ponto 1 (P1), a 31°47'22" sul e 52°12'58" oeste, está localizado na região denominada Barra do canal São Gonçalo, onde as águas do canal deságuam na Laguna dos Patos. Na região urbana estão situados: o Ponto 2 (P2), a 31°46'13" sul e 52°12'21" oeste, no Balneário Valverde; o Ponto 3 (P3), a 31°45'23" sul e 52°11'85" oeste, no Balneário S<sup>to</sup> Antônio; e o Ponto 4 (P4), a 31°44'36" sul e 52°11'10" oeste, na Praia do Barro Duro (Balneário dos Prazeres). Já o Ponto 5 (P5), a 31°43'16" sul e 52°09'94" oeste, encontra-se no Eco-camping, região turística. Por fim, o Ponto 6 (P6), a 31°42'79" sul e 52°09'38" oeste, que está na localidade da Colônia Z-3, uma colônia de pescadores. Escolheram-se esses locais de coleta buscando representatividade com relação de possíveis contaminantes ao Saco do Laranjal. Todos os pontos foram registrados com o auxílio de um GPS (Global Positioning System) modelo GARMIN Etrex Vista<sup>®</sup> H.

### **Coleta e preparo das amostras**

Com o auxílio de uma draga de aço inoxidável do tipo “*Van Veen*” fez-se a coleta do sedimento superficial (0-5 cm de profundidade). Foi retirado o material da parte central da draga, que após armazenou-se em pote de polietileno descontaminado. Em seguida da coleta, as amostras foram transportadas para o laboratório e armazenadas sob temperatura de refrigeração a  $\pm 4$  °C.

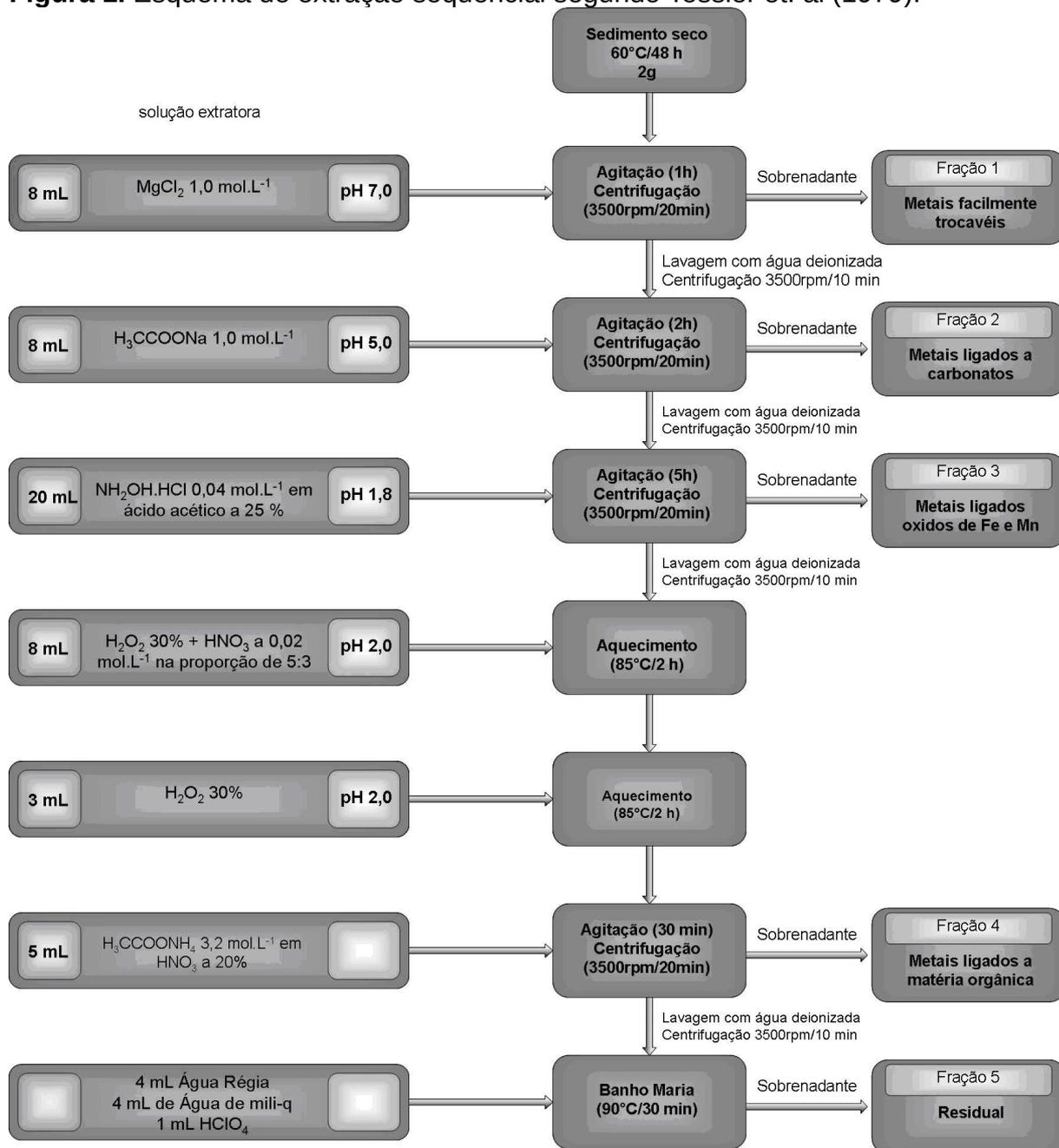
As amostras de sedimentos foram secas em estufa a 60 °C por 48 horas, a fim de evitar arraste dos metais pelo vapor de água. Em seguida, foram maceradas em almofariz e peneiradas. A fração < 63  $\mu\text{m}$  foi utilizada para o tratamento químico de extração.

### **Caracterização das amostras**

Através de metodologia padrão APHA (2005) foi feita a quantificação do conteúdo de matéria orgânica por meio da avaliação indireta por perda de voláteis a 550°C por 4h. Também realizou-se a análise granulométrica pelo método de Suguio (1973), que consiste na determinação, por peneiramento do sedimento, do tamanho de grãos, para assim classificá-los de acordo com a escala de Wentworth.

### **Extração**

Para a extração seqüencial utilizou-se o método de Tessier et. al. (1979). Pesou-se cerca de 2,0 g de cada sedimento seco em triplicata em tubos de centrífuga de 50 mL e iniciou-se o processo de extração conforme Figura 1, onde está representada toda a extração seqüencial, ou seja, todo o tratamento pelo qual passou o sedimento. A agitação foi realizada em agitador de tubos Vortex Quimis® e a centrifugação em centrífuga CT-4000 Cientec a 3.500 rpm por 20 minutos. Durante as etapas de aquecimento, controlou-se a temperatura utilizando-se banho-maria. Os extratos obtidos de cada fração foram filtrados e avolumados a 25 mL com água de Mili-Q.

**Figura 1.** Esquema de extração sequencial segundo Tessier et. al (1979).

Para a determinação da fração 5, houve uma mudança no método de Tessier et. al., substituindo a extração pelo método de Hortellani et. al. (2005), com modificações, onde o extrato resultante da fração 4 foi submetido a outro tratamento: adicionou-se 4 mL de água régia (3:1 HCl:HNO<sub>3</sub>), 4 mL de água Mili-Q e 1 mL de HClO<sub>4</sub>, aqueceu-se por 30 minutos a 90 °C em banho-maria. A solução resultante foi filtrada e avolumada a 25 mL com água de Mili-Q. Desta maneira a fração aqui descrita como inerte passa a representar a porção residual menos biodisponível, mas que pode tornar-se ativa em mudanças de condições

ambientais extremas ou por ingestão pela biota. Para todas as extrações foram realizadas provas em branco.

### Soluções e Reagentes

Todos os materiais utilizados no tratamento, análise e armazenamento das amostras foram descontaminados em uma solução de HNO<sub>3</sub> a 10% (v/v), por 24hs, e após secos em estufa a 105 °C, Teódulo et al. (2004).

Por diluição a partir de soluções padrões marca Titrisol® Merck (1000 mgL<sup>-1</sup>) foram preparados padrões para cada extração. Para o preparo dos padrões foram utilizados frascos fechados para evitar perdas por volatilização. Todos os padrões foram submetidos ao mesmo tratamento químico das amostras para as possíveis perdas serem as mesmas, mantendo a proporcionalidade entre o sinal analítico e a concentração.

Para o preparo das soluções extratoras foram utilizados os reagentes: Cloreto de Magnésio P.A., Acetato de Sódio P.A., Cloridrato de Hidroxilamina P.A., Ácido Acético Glacial P.A., Peróxido de Hidrogênio P.A., Acetato de Amônio P.A. Ácido Nítrico P.A., Ácido Perclórico P.A., Ácido Clorídrico P.A., todos da marca Synth.

### Instrumentação

Para a determinação de Cr, Cu, Pb e Zn, as amostras foram submetidas a análises por espectrometria de absorção atômica em chama em um espectrômetro PerkinElmer AAnalyst 200, as condições operacionais utilizadas no equipamento de absorção atômica estão especificadas na tabela 1.

**Tabela 1.** Condições operacionais utilizadas no espectrômetro de absorção atômica para a análise dos metais.

	Comprimento de onda (nm)	Fenda (mm)	Fluxo Oxidante (L.min <sup>-1</sup> )	Fluxo Acetileno (L.min <sup>-1</sup> )
<b>Cr</b>	357,9	2,7/0,8	10,0	3,3
<b>Cu</b>	324,7	2,7/0,8	10,0	2,5
<b>Pb</b>	217,0	2,7/1,3	10,0	2,5
<b>Zn</b>	213,9	2,7/1,8	10,0	2,5

O limite de detecção (LOD) foi calculado a partir de dez leituras do branco de cada solução extratora, usando soma da média do sinal do branco mais três vezes o seu desvio padrão. Já o limite de quantificação (LOQ) também foi calculado a partir de dez leituras do

branco, usando a soma da média do sinal do branco mais dez vezes seu desvio padrão, IUPAC (1997).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores determinados para Cr, Cu, Pb e Zn nas cinco frações estão apresentados na tabela 2, onde estão apresentados: os níveis encontrados, em  $\text{mg Kg}^{-1}$ ; os respectivos desvios padrões relativos (RSD) em porcentagem; o coeficiente de determinação ( $R^2$ ); o coeficiente angular (a); o coeficiente linear (b); os limites de detecção (LOD) e limites de quantificação (LOQ), ambos em  $\text{mgKg}^{-1}$ ; como também o Índice de qualidade do sedimento (ISQG) e o valor acima do qual efeito adverso é esperado (PEL), ambos em  $\text{mg Kg}^{-1}$  (CCME EPC- 98E, 1999); e Background para L. Patos em  $\text{mgKg}^{-1}$  (BG), Niencheski et al. (2002).

**Tabela 2.** Distribuição dos metais nas frações geoquímicas, concentrações em  $\text{mgKg}^{-1}$  e RSD(%) nos respectivos pontos amostrais, ISQG – Índice de qualidade do sedimento e PEL – Valor acima do qual efeito adverso é esperado em  $\text{mgKg}^{-1}$  (CCME EPC- 98E, 1999), BG – Background L. Patos em  $\text{mgKg}^{-1}$  (Niencheski et al., 2002), a – coeficiente angular, b – coeficiente linear, LOD- limite de detecção e LOQ - limite de quantificação em  $\text{mgKg}^{-1}$ .

		F1	F2	F3	F4	F5	Soma das Frações
P1	Cr	1,2 ± 2,3	0,7 ± 0,7	<LOD	4,0 ± 1,6	1,1 ± 5,3	7,0
	Cu	0,3 ± 0,7	<LOD	0,1 ± 2,3	4,3 ± 3,6	4,7 ± 4,2	9,4
	Pb	2,5 ± 3,2	<LOD	<LOD	<LOD	8,2 ± 0,7	10,7
	Zn	0,8 ± 2,8	0,8 ± 2,3	8,5 ± 0,02	7,8 ± 3,3	11,0 ± 1,7	28,9
P2	Cr	2,1 ± 1,7	0,8 ± 5,9	<LOD	<LOD	<LOD	2,9
	Cu	0,2 ± 10,9	<LOD	0,2 ± 6,7	0,1 ± 11,9	2,6 ± 0,9	3,1
	Pb	2,4 ± 7,1	<LOD	<LOD	<LOD	3,6 ± 1,2	6,0
	Zn	0,2 ± 3,1	0,2 ± 7,9	4,1 ± 3,4	3,9 ± 3,4	9,2 ± 1,6	17,6
P3	Cr	0,6 ± 8,3	1,0 ± 2,8	0,6 ± 4,1	2,8 ± 3,8	4,7 ± 3,7	9,7
	Cu	0,4 ± 3,9	<LOD	0,3 ± 1,4	1,8 ± 3,3	9,7 ± 7,0	12,2
	Pb	4,2 ± 2,0	4,8 ± 1,0	3,8 ± 11,6	4,2 ± 11,1	9,2 ± 5,2	26,2
	Zn	0,7 ± 8,8	0,5 ± 4,3	7,0 ± 2,5	4,0 ± 0,9	22,0 ± 1,6	34,2
P4	Cr	2,5 ± 5,5	0,9 ± 2,0	<LOD	<LOD	<LOD	3,4
	Cu	0,3 ± 2,9	<LOD	<LOD	<LOD	2,7 ± 3,3	3,0
	Pb	4,4 ± 1,9	<LOD	<LOD	<LOD	3,1 ± 0,1	7,5
	Zn	<LOD	0,2 ± 8,5	4,3 ± 2,8	0,7 ± 5,9	8,7 ± 4,9	13,9
P5	Cr	2,4 ± 1,8	1,1 ± 1,6	<LOD	<LOD	<LOD	3,5
	Cu	0,3 ± 7,7	<LOD	<LOD	<LOD	1,4 ± 0,1	1,7
	Pb	5,7 ± 5,0	<LOD	<LOD	<LOD	2,0 ± 7,5	7,7
	Zn	0,1 ± 2,3	0,3 ± 8,2	5,6 ± 1,3	2,2 ± 0,9	7,7 ± 1,0	15,9
P6	Cr	2,8 ± 4,5	1,1 ± 2,5	<LOD	<LOD	<LOD	3,9
	Cu	0,4 ± 4,2	<LOD	<LOD	<LOD	1,6 ± 3,8	2,0
	Pb	4,1 ± 6,8	<LOD	<LOD	<LOD	1,1 ± 12,7	5,2
	Zn	<LOD	0,3 ± 2,2	5,5 ± 1,3	0,9 ± 0,5	6,1 ± 7,0	12,8
LOD	Cr	0,10	0,40	0,10	0,20	0,10	
	Cu	0,08	0,10	0,05	0,05	0,20	

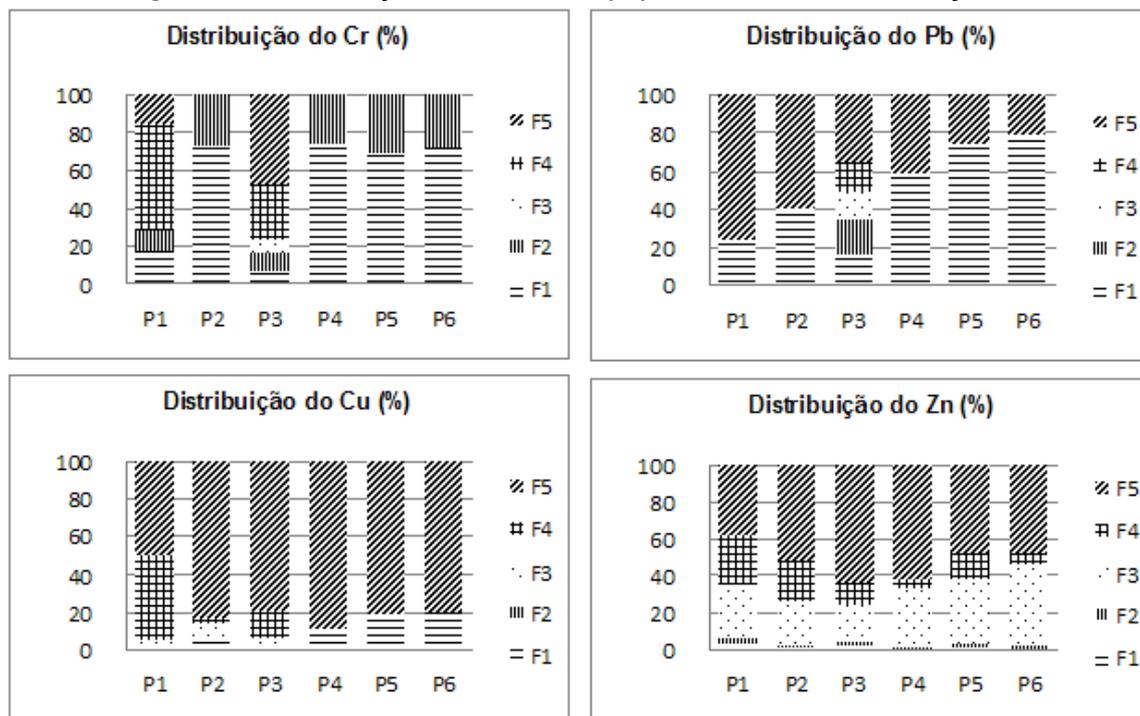
LOQ	Pb	0,30	0,10	0,40	0,20	0,10
	Zn	0,02	0,10	0,50	0,03	0,40
	Cr	0,30	0,50	0,30	0,50	0,30
	Cu	0,15	0,30	0,08	0,10	0,60
	Pb	1,20	0,20	1,00	0,40	0,20
R <sup>2</sup>	Zn	0,10	0,20	1,25	0,10	1,20
	Cr	0,97	0,99	0,98	0,97	0,99
	Cu	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
	Pb	0,96	0,99	0,97	0,99	0,92
	Zn	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99
a	Cr	0,0240	0,0403	0,0214	0,0098	0,0233
	Cu	0,1176	0,0718	0,0869	0,0637	0,0667
	Pb	0,0313	0,0318	0,0312	0,0191	0,0262
	Zn	0,4018	0,222	0,1794	0,1967	0,1603
	Cr	-0,0022	0,0011	-0,0002	-0,0018	-0,0017
b	Cu	0,0007	0,0005	0,0002	-0,0009	-0,0006
	Pb	-0,0039	0,0008	-0,0012	0,0001	-0,0044
	Zn	0,0205	0,0015	0,0000	-0,0013	0,0217
		<b>Cr</b>	<b>Cu</b>	<b>Pb</b>	<b>Zn</b>	
<b>BG</b>		18,5	20,0	13,4	70,4	
<b>ISQG</b>		52,3	18,7	30,2	124,0	
<b>PEL</b>		160,0	108,0	112,0	271,0	

Os resultados da especiação de cada fração estão relacionados com as distintas formas que os metais podem estar associados ao sedimento. As primeiras quatro frações que os metais estão aderidos representam a fase biodisponível, bem como a quinta fração representa a fase residual. Assim sendo, os metais extraídos na Fração 1 (F1) correspondem àqueles adsorvidos fracamente ao sedimento. Os metais presentes na Fração 2 (F2), são extraídos aqueles ligados a carbonatos. Na Fração 3 (F3), são extraídos aqueles associados a óxidos de ferro e manganês. Já a Fração 4 (F4) corresponde aos metais vinculados à matéria orgânica. E a Fração 5 (F5), a residual, ou seja, a que o metal encontrar-se-ia inerte. Neste estudo como utilizou-se o método de digestão pseudototal pra gerar fração 5, ela refletirá a porção de cada metal mais fortemente ligada a matriz, mas que ainda poderá ser absorvida pela biota em determinadas condições.

Na Figura 2 podemos conferir, através da porcentagem, a qual fração os metais estão mais associados. Dessa forma percebemos que o Cr nos pontos P2, P4, P5 e P6 apresentou o mesmo comportamento, baixas concentrações aderidas as frações 1 e 2, não sendo detectado nas frações 3, 4 e 5. Nos pontos P1 e P3 o metal apresentou maiores concentrações comparados aos demais pontos, no ponto P1, só não foi detectado na F3, estando mais associado à F4, já no ponto P3 o elemento ficou distribuído em todas as frações estando mais aderido as frações F4 e F5. Comportamento que indica a forte

relação do Cr e matéria orgânica, os pontos 1 e 3 apresentaram os maiores valores de MO e na fração F4 encontram-se a formas dos metais ligados a esta.

**Figura 2.** Distribuição dos metais (%) aderidos a cada Fração



O Cu apresentou baixas concentrações, estando mais ligado a F5 em todos os pontos, indicando baixa biodisponibilidade. Nos pontos P1, P2 e P3 o metal só não foi detectado na F2, ressaltando que os pontos P3 e P1 tiveram maiores concentrações na fração residual, respectivamente. Os pontos P4, P5 e P6 tiveram resultados semelhantes, o metal não foi detectado nestes pontos nas frações 2, 3 e 4, apresentando baixas concentrações na F1 e F5.

Em geral, a toxicidade do cobre é altamente influenciada por características físicas e químicas da água, como dureza, alcalinidade, pH, temperatura e concentração de oxigênio dissolvido (HOWARTH; SPRAGUE, 1978), e de forma muito relevante a matéria orgânica dissolvida (MATSUO, 2004). O cobre é considerado o mais imóvel dos metais pesados, sendo fortemente fixado pela matéria orgânica (F4), por óxidos de Fe, Al e Mn (F3) e pelos minerais de argila (ADRIANO, 1986).

Quanto ao Pb, destacou-se estando mais associado à F1 e F5, onde obteve valores de 2,5 a 5,7 mg.Kg<sup>-1</sup> na F1 e de 1,1 a 9,2 mg.Kg<sup>-1</sup> na F5. No P3 o metal apresentou-se distribuído, tendo uma maior afinidade a F5.

A presença de metais nos extratos F1, refletem a capacidade do sedimento liberar este metal para coluna d'água, apenas pelo aumento da dureza (RANGEL; SANCHES FILHO, 2014), situação comum em ambientes estuarinos.

Já o Zn, mostrou-se distribuído em todas as frações em todos os pontos, somente nos pontos P4 e P6 que não foi detectado na F1. O metal apresentou-se mais associado a fração residual em todos os pontos, apresentando maiores concentrações nos pontos P3 e P1, de 0,7 a 22,0 mg.Kg<sup>-1</sup> e 0,8 a 11,0 mg.Kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Da soma das frações, o Zn foi o metal que apresentou maiores concentrações em todos os pontos, seguido do Pb, Cu e Cr. Estes resultados, exceto o Pb no P3, estão abaixo do *background* do estuário da Laguna dos Patos definido por Niencheski et al. (2002). Os teores dos metais encontram-se abaixo dos índices do Guia de Qualidade dos Sedimentos Estuarinos do Canadá (CCME EPC-98E,1999), indicando que a região não se encontra impactada por esses metais.

Nos pontos P1 e P3 foram encontradas maiores concentrações dos metais analisados, tal situação está de acordo com o trabalho realizado por Betemps e Sanches (2011) para a mesma região. O P3 situa-se ao centro do Saco do Laranjal, local favorável a deposição de contaminantes em razão dos efeitos de circulação das águas da laguna. Quanto ao P1, isso pode ser associado ao fato de que o ponto está situado na foz do Canal São Gonçalo, que representa principal entrada de metais tóxicos no estuário, uma vez que recebe toda carga de contaminantes gerada na cidade de Pelotas e coletada pelos canais de drenagem pluvial (VALADÃO et. al., 2016).

A Tabela 3 apresenta os teores de matéria orgânica e granulometria do sedimento, análises realizadas a fim de avaliar possíveis fatores de influência sobre a distribuição dos metais. Desse sendo, atribui-se a uma maior concentração de metais associado ao sedimento apresenta altos teores de matéria orgânica e granulometria fina (< 63 µm).

**Tabela 3.** Distribuição granulométrica (%) e teor de matéria orgânica (%) e respectivo desvio padrão relativo ( $\pm$  RSD)

	Grão (2 mm)	Areia Muito Grossa (1 mm)	Areia Grossa (500 µm)	Areia Média (250 µm)	Areia Fina (125 µm)	Areia Muito Fina (63 µm)	Fundo (< 63 µm)	MO (%)
P1	0,2	3,5	9,8	9,3	21,8	29,7	25,7	4,5 $\pm$ 2,1
P2	14,5	10,1	14,4	14,6	27,6	11,2	7,6	1,7 $\pm$ 1,4
P3	23,0	8,8	10,3	9,4	10,8	16,9	20,9	7,0 $\pm$ 4,1
P4	5,3	4,3	12,3	20,9	44,2	7,6	5,4	2,4 $\pm$ 3,5
P5	39,7	26,0	15,5	7,9	8,7	1,8	0,4	2,1 $\pm$ 2,4

P6	22,6	17,5	12,1	9,6	25,2	10,8	2,2	1,7 ± 4,3
----	------	------	------	-----	------	------	-----	-----------

Através da especiação química conseguiu-se diferenciar a forma em que os metais Cr, Cu, Pb e Zn estão associados ao sedimento do Saco do Laranjal. Verificou-se que o cromo está de forma geral mais biodisponível, e o cobre, chumbo e zinco encontram-se mais aderidos a sua forma mais resistente a absorção pela biota.

### AGRADECIMENTOS

A FAPERGS pela bolsa concedida, ao GPCA (Grupo de Pesquisas em Contaminantes Ambientais) e ao Instituto Federal Sul-rio-grandense Campus Pelotas.

### REFERÊNCIAS

- ADRIANO, D. C.. **Trace elements in the terrestrial environment**. New York: Springer Verlag, 1986
- ALVES, Cristina Maria Rodrigues Ferreira. Especiação de Metais Pesados em Sedimento: Aplicação à Bacia Hidrográfica do Rio Ave. 2002. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto.
- APHA, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 21<sup>o</sup> edition, 2005.
- BACON, J.R.; DAVIDSON, C.M. 2008. Is there a future for sequential chemical extraction? *Analyst*, 133: 25-46.
- BETEMPS, G. R., SANCHES FILHO, P. J.. 2011. Estudo sazonal de metais pesados no sedimento do Saco do Laranjal – Pelotas-RS. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**
- CCME EPC- 98E, Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection aquatic life, 1999.
- HORTELLANI, M. A., SARKIS, J. E. S., BONETTI, J., BONETTI, C.. 2005. Evaluation of Mercury Contamination in Sediments from Santos. **J. Braz. Chem. Soc.**, Vol. 16, No. 6A, 1140-1149.
- HOWARTH, R.S.; SPRAGUE, J.B. 1978. Copper lethality to rainbow trout in waters of various hardness and pH. **Water Research**, v.12, p.455-462, 1978.
- IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry, 1997, Chemistry Compendium of Chemical Terminology 2nd Edition.

- KOUMROUYAN, A.; SANTANA, G. P., 2008, Química de elementos-traço nos sedimentos do lago do Parú (Manacapará – Amazonas), sob influência do pulso de inundação do baixo Rio Solimões. **Acta Amazonica**. Vol. 38(3): 491-502.
- LACERDA, L. D.; MARINS, R. V., 2006, Geoquímica de sedimentos e o monitoramento de metais na plataforma continental nordeste oriental do Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, Rio de Janeiro, 20(1): 123-135.
- LIMA, M. C; GIACOMELLI, M. B. O.; STÜPP, V.; ROBERG, F. D.; BARRERA, P. B., 2001, Especiação de cobre e chumbo em sedimento do rio Tubarão (SC) pelo método Tessier. **Quím. Nova**, vol. 24, No. 6, 734-742.
- MATSUO, A. Y. O.. Aspectos ecofisiológicos e ecotoxicológicos em espécies da ictiofauna do Rio Negro, Amazônia, com ênfase na regulação iônica. Tese (Doutorado) – INPA/UFAM, Manaus, 2004
- MIRLEAN, N., ANDRYS, V. E., BAISH, P., GRIEP, G., CASARTELLI, M. R., 2003, Arsenic pollution in Patos Lagoon estuarine sediments, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, 46: 1480–1484.
- OLIVEIRA, J.D.; FAVA, F.H.; VALENTE, J.P.S.; FLORENTINO, A.O.; PADILHA, P.M.. 2006, Estudo da biodisponibilidade de Pb, Cu, Cr, Zn, Mn e Ni em amostras de sedimento do Ribeirão Lavapés, Botucatu-SP. 29ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química(SBQ).
- RAMB - Relatório de qualidade ambiental da cidade de pelotas de 2003.
- RANGEL, E. M.; SANCHES FILHO, P. J. Determinação de metais traço no sedimento do canal prolongamento da Avenida Bento Gonçalves, Pelotas (RS). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 5, p. 229-240, 2014.
- SUGUIO, K., 1973, Introdução à sedimentologia, São Paulo, 317p.
- SUNDARAY, S. K., NAYAK, B. B., LIN, S., BHATTA, D., 2011, Geochemical speciation and risk assessment of heavy metals in the river estuarine sediments - A case study Mahanadi basin, India. **Journal of Hazardous Materials**, 186: 1837-1846.
- TEÓDULO, M. J. S., LIMA, E. S., NEUMANN, V. H. M. L., LEITE, P. R. B., SANTOS, M. L. F. S., 2003, Comparação de métodos de extração parcial de metais traço em solos e sedimentos de um estuário tropical sob a influência de um complexo industrial port/uário, Pernambuco Brasil. **Estudos Geológicos**. 13: 23-34.
- TESSIER, A.; CAMPBELL, P.G.C.; BISSON, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical Chemistry**, 51: 844-850.

TORRES, R. F., LACERDA, L. D., AGUIAR, J. E., 2008, Biodisponibilidade de Cu e Pb em sedimentos de um canal de maré afluyente do estuário do Jaguaribe – Ce. III Congresso Brasileiro de Oceanografia – CBO'2008, I Congresso Ibero-Americano de Oceanografia – I CIAO, Fortaleza, Brasil.

URE, A.M. 1991. **Trace element speciation in soils, soil extracts and solutions.** Mikrochimica Acta, II: 49-57.

VALADÃO, L. S.; GARCIA, J. F. C.; SANCHES FILHO, P. J.; TABORDA, A. M.P. P. Determinação de elementos traço no sedimento do canal São Gonçalo, Pelotas, Rio Grande do Sul. **Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais**, v. 7, p. 210, 2016.

## CAPÍTULO 7

### EFLUENTES HOSPITALARES: IMPACTOS AMBIENTAIS E TRATAMENTOS

*Matheus Hirdes Antunes*

*Daniel Ricardo Arsand*

#### RESUMO

Efluentes hospitalares vêm sendo alvo da comunidade científica visto que contribuem com fármacos das mais variadas classes, seus metabólitos e produtos de degradação, surfactantes, metais, entre outros contaminantes para os sistemas de esgotos domésticos municipais e para corpos hídricos receptores, além de serem ambientes propícios ao desenvolvimento de resistência bacteriana. Este capítulo tem por objetivo abordar, de forma geral, aspectos relacionados a estes efluentes, como legislação, impactos ambientais e a importância de tratar os efluentes hospitalares na fonte geradora. Tecnologias e inovações de tratamento são apresentadas a fim de ilustrar o que vem sendo pesquisado, proposto e realizado pela comunidade científica acerca de efluentes hospitalares e da remoção dos contaminantes presentes nestes efluentes, visando minimizar danos ambientais.

**Palavras-chave:** Contaminantes ambientais. Fármacos. Tratamentos alternativos.

#### CARACTERÍSTICAS E COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE HOSPITALAR

O efluente hospitalar é, em muitos países, disposto diretamente na rede coletora de esgotos dos municípios sem qualquer pré-tratamento, por ser considerado muito semelhante ao esgoto doméstico (AL QARNI *et al.*, 2016). Embora seja realmente parecido em relação às características físico-químicas, o efluente hospitalar é rico em micropoluentes e microrganismos (ORIAS; PERRODIN, 2013). Como resultado, têm-se um ambiente propício ao desenvolvimento de resistência bacteriana e degradação e complexação de poluentes, disponibilizando estes compostos nas suas formas precursoras e derivadas. Estas substâncias poderão apresentar diferentes efeitos no ambiente, além

de se relacionarem com outros poluentes, como metais pesados, desinfetantes e microrganismos (HOCQUET *et al.*, 2016) podendo resultar em toxicidade ambiental.

O efluente hospitalar se mostra uma matriz complexa, composta por surfactantes, desinfetantes, medicamentos metabolizados e não metabolizados, metais pesados e microrganismos oriundos das mais variadas atividades realizadas no ambiente hospitalar, como diagnóstico, lavanderia, limpeza, radiologia e manutenção (VERLICCHI *et al.*, 2010). Além destes, os setores de hemodiálise de clínicas e hospitais contribuem diuturnamente com efluentes altamente salinos e nitrogenados.

Muitos medicamentos são utilizados nos mais variados serviços hospitalares, entre eles, anti-hipertensivos, antidepressivos e analgésicos que, por conseguinte, podem ser encontrados no efluente hospitalar. Foi reportado a estas classes de fármacos a capacidade de alterar a concentração de neurotransmissores do microcrustáceo *Daphnia magna*; em concentrações ambientais, fluoxetina, diazepam e propranolol aumentaram ou diminuíram as concentrações de serotonina, dopamina e norepinefrina dos organismos testados (RIVETTI *et al.*, 2019).

As drogas farmacêuticas compõem os contaminantes emergentes, também chamados de micropoluentes, encontrados no ambiente em concentrações nas faixas de ng e  $\mu\text{g L}^{-1}$  (LUO *et al.*, 2014). BU *et al.* (2016) citaram que fármacos também podem ser considerados contaminantes pseudo-persistentes devido ao seu aporte contínuo nos compartimentos ambientais em quantidades superiores à capacidade de degradação do ambiente. Fármacos são divididos em várias classes, com diferentes funções e estruturas químicas, interagindo e produzindo efeitos de ampla variação nos ambientes e organismos. Apesar de serem encontrados em baixas concentrações no ambiente, os fármacos são aportados constantemente, seja pelo uso médico ou veterinário, fazendo com que estes contaminantes possuam ação permanente entre si e entre os organismos (PUCKOWSKI *et al.*, 2016). Os contaminantes fármacos chegam ao ambiente via disposição direta ou mesmo após passar por estações de tratamento, podendo estar degradados, porém raramente mineralizados. Ainda, no solo, em águas subterrâneas e em águas superficiais estes contaminantes podem sofrer degradação biótica ou abiótica, aumentando a variabilidade de formas com que interagem com o meio (MAHMOUD; KÜMMERER, 2012).

## LEGISLAÇÃO AMBIENTAL E TOXICIDADE DE EFLUENTES

As legislações normativas relativas ao lançamento destes efluentes, tanto em corpos receptores como em redes de coleta de esgoto municipal, utilizam indicadores físico-químicos tais como pH, cor, temperatura, sólidos suspensos e sólidos suspensos totais; e macropoluentes como nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, fósforo total, fosfato e sulfato, para monitorar e evitar contaminação do ambiente. Com algumas exceções, indicadores microbiológicos como coliformes termotolerantes são considerados, sendo comumente *Escherichia coli* (CARRARO *et al.*, 2016). Neste sentido, testes ecotoxicológicos podem auxiliar na compreensão do efeito dos efluentes no ambiente, assim como na avaliação do efeito conjunto dos contaminantes.

Estudos toxicológicos vêm apontando potenciais danos à fauna aquática, como consequência da composição destes efluentes. Foram observados efeitos teratogênicos, mutagênicos, inibição de reprodução e crescimento em anfíbios, moluscos, crustáceos e peixes expostos a efluentes hospitalares com metais e fármacos com concentrações em níveis traço (MAZZITELLI *et al.*, 2018; PÉREZ-ALVAREZ *et al.*, 2018). Desta forma, testar a toxicidade de efluentes brutos e tratados é fundamental, já que por vezes estes efluentes se apresentam dentro dos padrões físico-químicos de qualidade definidos pela legislação e, ainda assim, causam algum efeito na biota, seja pela interação entre contaminantes ou pela presença de contaminantes não contemplados pela legislação (BARJHOUX *et al.*, 2017). Ensaio de toxicidade são realizados com diversos organismos, como cianobactérias (MATEO *et al.*, 2015), algas (RENO *et al.*, 2016), microcrustáceos (SIVULA *et al.*, 2018), peixes (GERBER *et al.*, 2016), sementes (GERBER *et al.*, 2017), plantas (BILAL *et al.*, 2016) e minhocas (YADAV, GUPTA e KUMAR, 2017). De Oliveira *et al.* (2016) obtiveram resultados indicando que o pólen utilizado pelas abelhas tem potencial bioindicador para contaminação por pesticidas e relacionaram a presença de alguns pesticidas no pólen às culturas agrícolas em que são utilizados, reforçando a necessidade de se conhecer os potenciais efeitos na cadeia trófica.

Apesar de terem sido negligenciados pelo fato de representarem uma pequena fração do todo, acreditando-se no poder de diluição do esgoto sanitário municipal e no cotratamento de ambos nas estações de tratamento de esgotos, efluentes hospitalares e seus efeitos na saúde humana e ambiental vêm sendo alvo de preocupação (CIDLINOVA *et al.*, 2018). Entretanto, raramente encontram-se legislações, normas ou mesmo referências específicas relativas à gestão e disposição destes resíduos (CARRARO *et al.*,

2017). Grande parte dos países trata o efluente hospitalar como doméstico, apesar de algumas características do efluente gerado por serviços de saúde promoverem a diminuição da eficiência das estações municipais de tratamento de esgotos (WIEST *et al.*, 2018).

A diretiva 98/15/CE de 1998 da União Europeia trata de esgotos domésticos, porém estabelece que deve haver autorização dos órgãos ambientais de cada país em relação ao tratamento e disposição em casos em que se considera o efluente de determinado serviço hospitalar como industrial (CARRARO *et al.*, 2016). Citado por Carraro *et al.* (2017) como o único guia abordando especificamente a questão de efluentes hospitalares, o guia da Organização Mundial da Saúde intitulado “*Safe Management of Wastes from Healthcare Activities*” descreve como deve ser a coleta e disposição do efluente hospitalar e sugere um modelo base para o tratamento destes efluentes, consistindo em grades e caixa de areia, seguido por reator anaeróbico de fluxo ascendente e tratamento aeróbico em *wetlands* construídos; ainda, estabelece alguns critérios de avaliação do efluente.

A *United States Environmental Protection Agency* (US-EPA) aborda o tema dos efluentes hospitalares estabelecendo linhas gerais para que estados e municípios façam o controle do lançamento destes resíduos; dividindo os geradores conforme a disposição do efluente: aporte direto em águas superficiais ou aporte indireto – aquele cuja disposição é feita na rede municipal de coleta de esgotos –, ambos sujeitos aos critérios e limites estabelecidos pelos órgãos locais (CARRARO *et al.*, 2017).

No Brasil, a legislação federal do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e Conselho Estadual do Meio Ambiente do Rio Grande do Sul (CONSEMA) não tratam especificamente do efluente hospitalar, estabelecendo padrões e condições de lançamento de efluentes que acabam sendo utilizados para as instalações de serviços de saúde (NEUHAUS, 2017). A resolução nº 358 do CONAMA dá providências sobre o tratamento e disposição final de resíduos do serviço de saúde, porém, consta apenas que os efluentes provenientes destes serviços, para serem lançados direta ou indiretamente no ambiente, devem atender às diretrizes estabelecidas pelos órgãos ambientais, gestores de recursos hídricos e saneamento (CEZIMBRA, 2015).

## **TRATAMENTOS AVANÇADOS DE EFLUENTES**

Através de processos de tratamento de efluentes, busca-se melhorar características de esgotos domésticos e efluentes industriais para fins como reutilização e disposição final,

sendo escolhidos observando-se diversos critérios, entre eles, exigências legais, custo de instalação e operação, área disponível, interesse e/ou necessidade de reuso (METCALF; EDDY, 2015). Os processos de tratamento são comumente divididos em três grandes áreas: tratamentos físicos, químicos e biológicos (FORMENTINI, 2012).

Nos últimos anos, o efluente hospitalar vem ganhando visibilidade científica devido ao potencial de causar risco ambiental, muito relacionado à capacidade de disseminar microrganismos multirresistentes como bactérias e vírus (HOCQUET *et al.*, 2016). A grande concentração de desinfetantes, contrastes de raio-x, fármacos, surfactantes, disruptores endócrinos, compostos radioativos e microbiota mais resistente a tratamentos biológicos mostra que estes efluentes requerem maior atenção (VERLICCHI *et al.*, 2015).

Técnicas de tratamentos de efluentes são utilizadas em escala experimental e em estações de tratamento de efluente hospitalar buscando diminuir o aporte de contaminantes no ambiente. A Tabela 1 apresenta, resumidamente, técnicas utilizadas no tratamento de efluentes desta natureza.

**Tabela 1** – Técnicas de tratamentos de efluente hospitalar.

País	Esquema de tratamento	Eficiência de remoção	Referência
Arábia Saudita	Lodo ativado + filtro de areia + cloração	Ciprofloxacina (>95%), Cafeína (>95%), Sulfametoxazol (>95%), N-acetilsulfametoxazol (>95%), Paracetamol (>95%), Atenolol (>85%), Carbamazepina (>85%), Claritromicina (>85%) e Lidocaína (>65%).	AL QARNI <i>et al.</i> (2016)
Vietnam	Bioreator de membrana + ozonização (escala experimental)	Trimetoprima (97%), Norfloxacina (92%), Eritromicina (90%), Ofloxacina (88%), Ciprofloxacina (83%) e Sulfametoxazol (66%).	BUI <i>et al.</i> (2019)

		Fármacos (99,9%)	
Dinamarca	Bioreator de membrana + filtro de carvão ativado + ozonização + UV	Meios de contraste (99%) DQO (99%) N total (99%) P total (99%) DBO (>98%)	BIOBOOSTER (2016)    AL-HASHIMIA, ABBAS e JASEMA (2013)
Iraque	Bioreator de membrana anaeróbio (escala experimental)	DQO (>90%) N amoniacal (>99%) P (83%)	
		Coliformes (98%) Carbono orgânico total (>90%)	
Brasil	Filtro anaeróbico de fluxo ascendente + foto-fenton/UVC	DBO (>90%) DQO (>90%) Turbidez (90%) Cor (57%)	PERINI <i>et al.</i> (2018)
Grécia	Filtro de areia + tratamento biológico + desinfecção com hipoclorito de sódio + fotocatalise	Antibióticos (80% degradação global) Venlafaxina (96%), O-desmetil venlafaxina (75%), amissulprida (98%), sulfametoxazol (62%) e carbamazepina (86%).	KONSTAS <i>et al.</i> (2019)

Devido à complexidade destes efluentes, busca-se o acoplamento de técnicas e otimização de arranjos de tratamentos de efluentes hospitalares para minimizar a quantidade de compostos capazes de alterar a qualidade das águas (KHAN *et al.*, 2020; SINGH; THAKUR, 2020).

Deng *et al.* (2018) utilizaram cátodo de espuma-Fe-Ni em um reator com tripolifosfato (TPP) como eletrólito suporte com objetivo de degradar fenol por meio da

técnica de eletro-Fenton; obtiveram 100% de degradação do contaminante em pH 6,0 e ressaltaram a existência de relação positiva entre o eletrólito e o cátodo, promovendo a formação de complexo  $\text{Fe}^{2+}$ -TPP. Ainda, propuseram que a técnica pode ser utilizada como pré-tratamento ao tratamento biológico com o eletrólito servindo como nutriente.

Ozonização também vem sendo utilizada como pré-tratamento aos tratamentos biológicos; o ozônio tem bons resultados na eliminação de bactérias (LÜDDEKE *et al.*, 2015), diminuição da mutagenicidade (PUNZI *et al.*, 2015) e degradação ou aumento da biodegradabilidade de fármacos (HANSEN *et al.*, 2016). Seguindo a tendência de acoplamento de técnicas, vêm se utilizando tratamentos biológicos e físicos (filtro de areia e carvão ativado granular) a fim de remover eventual toxicidade causada por produtos de degradação oriundos dos processos de ozonização (BOURGIN *et al.*, 2018).

Tratamentos utilizando sistemas de lodo ativado, aeração e desinfecção através de UV e cloração apresentam eficiência de remoção e/ou degradação acima de 85% para muitos fármacos (AL QARNI *et al.*, 2016); 50% para DQO e DBO e remoção de 80% de nutrientes como fósforo (NAINGGOLAN e PERMANASARI, 2017).

Perini *et al.* (2018) utilizaram a técnica de foto-fenton assistida por radiação UVC com objetivo de aumentar a eficiência de degradação de fármacos de um efluente hospitalar tratado por filtração anaeróbia com fluxo ascendente; apesar de eficiente na remoção de matéria orgânica, o processo biológico anaeróbio utilizado não foi capaz de degradar fármacos, ao passo que a técnica avançada de oxidação atingiu níveis satisfatórios na degradação das drogas farmacêuticas analisadas e proporcionou diminuição do carbono orgânico dissolvido.

Uma planta de tratamento avançado de efluentes hospitalares em grande escala foi instalada no hospital Herlev, na Dinamarca: hospital de grande porte, com 900 leitos e geração de 200 mil  $\text{m}^3$  de efluente por ano. Foi evidenciada em relatório de avaliação do projeto a qualidade do efluente tratado e o retorno financeiro a longo prazo. Com eficiência de remoção acima de 99% para matéria orgânica, nutrientes, fármacos e outros contaminantes recalcitrantes, a configuração da estação de tratamento pode ser visualizada na Figura 1.

**Figura 1** - Fluxograma de funcionamento da ETE do hospital Herlev, adaptado de BIOBOOSTER (2016).



Onde: (1) entrada do efluente bruto; (2) saída do efluente tratado para a rede municipal de esgotos.

Em termos financeiros, o relatório menciona que o objetivo é aportar o efluente tratado diretamente no recurso hídrico superficial, deixando de pagar as taxas cobradas pelo serviço de coleta e tratamento de esgotos do município (3,41 EUR/m<sup>3</sup>), mantendo apenas o custo de operação e manutenção da estação (1,45 EUR/m<sup>3</sup>) (BIOBOOSTER, 2016).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Seja pela questão financeira, consciência ambiental, exigências legais ou por todos estes motivos, é importante que governos, órgãos públicos e privados estejam alinhados e comprometidos em melhorar a qualidade de águas, esgotos urbanos e efluentes industriais para o bem da saúde ambiental e da população humana. Neste sentido, os efluentes hospitalares ganham especial importância ambiental e sanitária e a adoção de tecnologias apropriadas para o seu tratamento é fundamental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-HASHIMIA, Mohammed Ali I.; ABBAS, Talib R.; JASEMA, Yaser I. Performance of sequencing anoxic/anaerobic membrane bioreactor (SAM) system in hospital wastewater treatment and reuse. **European Scientific Journal**, v. 9, n. 15, 2013.

AL QARNI, Hamed *et al.* Investigating the removal of some pharmaceutical compounds in hospital wastewater treatment plants operating in Saudi Arabia. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 13, p. 13003-13014, 2016.

BARJHOUX, Iris *et al.* A comprehensive study of the toxicity of natural multi-contaminated sediments: New insights brought by the use of a combined approach using the medaka embryo-larval assay and physico-chemical analyses. **Ecotoxicology and environmental safety**, 1103 v. 142, p. 509-521, 2017.

BILAL, Muhammad *et al.* Mutagenicity, cytotoxicity and phytotoxicity evaluation of biodegraded textile effluent by fungal ligninolytic enzymes. **Water Science and Technology**, v. 73, n. 10, p. 2332-2344, 2016.

BIOBOOSTER, Grundfos. Full scale advanced wastewater treatment at Herlev 465 Hospital. Report prepared by DHI, 2016.

BOURGIN, Marc *et al.* Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant upgraded with ozonation and biological post-treatments: Abatement of micropollutants, formation of transformation products and oxidation by-products. **Water research**, v. 129, p. 486-498, 2018.

BU, Qingwei *et al.* Assessing the persistence of pharmaceuticals in the aquatic environment: Challenges and needs. **Emerging Contaminants**, v. 2, n. 3, p. 145-147, 2016.

BUI, Xuan-Thanh *et al.* Hospital wastewater treatment by sponge membrane bioreactor coupled with ozonation process. **Chemosphere**, v. 230, p. 377-383, 2019.

CARRARO, Elisabetta *et al.* Hospital effluents management: chemical, physical, microbiological risks and legislation in different countries. **Journal of environmental management**, v. 168, p. 185-199, 2016.

CARRARO, Elisabetta; BONETTA, Silvia; BONETTA, Sara. Hospital wastewater: existing regulations and current trends in management. **Hospital Wastewaters**. Springer, Cham, 2017. p. 1-16.

CEZIMBRA, S. A. R.; Estudo de Efluentes Hospitalares: Caso Hospital Santa Casa de Misericórdia de São Lourenço do Sul. 2015. 67 f. Trabalho de conclusão de curso

(Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS.

CIDLINOVÁ, A. *et al.* Ecotoxicity of Wastewater from Medical Facilities: A Review. **Scientia agriculturae bohemica**, v. 49, n. 1, p. 26-31, 2018.

DENG, Fengxia *et al.* Iron-foam as a heterogeneous catalyst in the presence of tripolyphosphate electrolyte for improving electro-Fenton oxidation capability. **Electrochimica Acta**, v. 272, p. 176-183, 2018.

DE OLIVEIRA, Renata Cabrera *et al.* Bee pollen as a bioindicator of environmental pesticide contamination. **Chemosphere**, v. 163, p. 525-534, 2016.

FORMENTINI, Diana Fatima *et al.* Tratamento eletroquímico de esgotos sanitários. 2012.

GERBER, Michel David *et al.* Toxicity evaluation of parboiled rice effluent using sperm quality of zebrafish as bioindicator. **Ecological Indicators**, v. 61, p. 214-218, 2016.

GERBER, Michel David *et al.* Phytotoxicity of effluents from swine slaughterhouses using lettuce and cucumber seeds as bioindicators. **Science of the Total Environment**, v. 592, p. 86-90, 2017.

HANSEN, Kamilla MS *et al.* Ozonation for source treatment of pharmaceuticals in hospital wastewater—ozone lifetime and required ozone dose. **Chemical Engineering Journal**, v. 290, p. 507-514, 2016.

HOCQUET, Didier; MULLER, Allison; BERTRAND, Xavier. What happens in hospitals does not stay in hospitals: antibiotic-resistant bacteria in hospital wastewater systems. **Journal of Hospital Infection**, v. 93, n. 4, p. 395-402, 2016.

KHAN, Afzal Husain *et al.* Application of advanced oxidation processes followed by different treatment technologies for hospital wastewater treatment. **Journal of Cleaner Production**, v. 269, p. 122411, 2020.

KONSTAS, Panagiotis-Spyridon *et al.* Photocatalytic Treatment of Pharmaceuticals in Real Hospital Wastewaters for Effluent Quality Amelioration. **Water**, v. 11, n. 10, p. 2165, 2019.

LÜDDEKE, Frauke *et al.* Removal of total and antibiotic resistant bacteria in advanced wastewater treatment by ozonation in combination with different filtering techniques. **Water research**, v. 69, p. 243-251, 2015.

LUO, Yunlong *et al.* A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. **Science of the total environment**, v. 473, p. 619-641, 2014.

MAHMOUD, Waleed MM; KÜMMERER, Klaus. Captopril and its dimer captopril disulfide: Photodegradation, aerobic biodegradation and identification of transformation products by HPLC–UV and LC–ion trap–MSn. **Chemosphere**, v. 88, n. 10, p. 1170-1177, 2012.

MATEO, Pilar *et al.* Cyanobacteria as bioindicators and bioreporters of environmental analysis in aquatic ecosystems. **Biodiversity and Conservation**, v. 24, n. 4, p. 909-948, 2015.

MAZZITELLI, Jean-Yves *et al.* Evaluation of psychiatric hospital wastewater toxicity: what is its impact on aquatic organisms? **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 26, p. 26090-26102, 2018.

METCALF, L; EDDY, H. P. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. **McGraw Hill Brasil**, 2015.

NAINGGOLAN, Catherine Maname Uli; PERMANASARI, Vetty Yulianty. Cost Effectiveness and Efficiency Analysis of Hospital Wastewater Treatment Plant: A Systematic Review. **International Conference on Applied Science and Health**. International Conference on Applied Science and Health (ICASH), 2017.

NEUHAUS, Fabian Rangel Schroter. Efluentes hospitalares: uma análise sobre a legislação e análise dimensional do tratamento de efluentes aplicável ao Hospital de Caridade de Três Passos. 2017.

ORIAS, Frédéric; PERRODIN, Yves. Characterisation of the ecotoxicity of hospital effluents: a review. **Science of the Total Environment**, v. 454, p. 250-276, 2013.

PÉREZ-ALVAREZ, Itzayana *et al.* Determination of metals and pharmaceutical compounds released in hospital wastewater from Toluca, Mexico, and evaluation of their toxic impact. **Environmental Pollution**, v. 240, p. 330-341, 2018.

PERINI, João A. Lima *et al.* Simultaneous degradation of ciprofloxacin, amoxicillin, sulfathiazole and sulfamethazine, and disinfection of hospital effluent after biological treatment via photo-Fenton process under ultraviolet germicidal irradiation. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 224, p. 761-771, 2018.

PUCKOWSKI, Alan *et al.* Bioaccumulation and analytics of pharmaceutical residues in the environment: A review. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 127, p. 232-255, 2016.

PUNZI, Marisa *et al.* Combined anaerobic–ozonation process for treatment of textile wastewater: removal of acute toxicity and mutagenicity. **Journal of hazardous materials**, v. 292, p. 52-60, 2015.

RENO, Ulises *et al.* Water polluted with glyphosate formulations: effectiveness of a decontamination process using *Chlorella vulgaris* growing as bioindicator. **Journal of Applied Phycology**, v. 28, n. 4, p. 2279-2286, 2016.

RIVETTI, Claudia *et al.* Characterization of neurotransmitter profiles in *Daphnia magna* juveniles exposed to environmental concentrations of antidepressants and anxiolytic and antihypertensive drugs using liquid chromatography–tandem mass spectrometry. **Analytical and bioanalytical chemistry**, v. 411, n. 22, p. 5867-5876, 2019.

SINGH, Rashmi; THAKUR, Indu Shekhar. Cancer treatment drugs and endocrine-disrupting chemicals release and fate in hospital wastewater. **Current developments in biotechnology and bioengineering**. Elsevier, 2020. p. 203-239.

SIVULA, Leena *et al.* Toxicity of biomining effluents to *Daphnia magna*: Acute toxicity and transcriptomic biomarkers. **Chemosphere**, v. 210, p. 304-311, 2018.

VERLICCHI, Paola *et al.* Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. **Journal of Hydrology**, v. 389, n. 3-4, p. 416-428, 2010.

VERLICCHI, Paola; AL AUKIDY, M.; ZAMBELLO, Elena. What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent?—An overview and a discussion on perspectives. **Science of the Total Environment**, v. 514, p. 467-491, 2015.

WIEST, Laure *et al.* Two-year survey of specific hospital wastewater treatment and its impact on pharmaceutical discharges. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 10, p. 9207-9218, 2018.

YADAV, Jyoti; GUPTA, R. K.; KUMAR, Deepak. Heavy metals toxicity on growth and reproduction of *Eisenia fetida*. **Research in Environment and Life Sciences**, v. 6, p. 565-568, 2017.

## CAPÍTULO 8

### VISÃO DOS ALUNOS INGRESSANTES NO CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES ESPECIAIS

*Fabiane Borba Bergmann*

*Hugo Leonardo da Cunha Amaral*

*Robledo Lima Gil*

#### RESUMO

Lâmpadas fluorescentes, pilhas, baterias e eletroeletrônicos são considerados Resíduos Sólidos Domiciliares Especiais (RSDE), após o seu descarte e devido as suas propriedades químicas exigem destinação final adequada. Para isto, devem ser implementadas a logística reversa e a responsabilidade compartilhada, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). A fim de se realizar um estudo sobre a visão dos alunos ingressantes no curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) sobre os RSDE e a PNRS foi aplicado um questionário com o intuito de se realizar uma pesquisa exploratória. Percebemos que existem falta de informações e conhecimentos, tanto sobre os RSDE quanto sobre a PNRS. Para que isto se reverta é necessário desenvolver projetos em vários níveis, os quais envolvam tanto a sociedade quanto a academia nesta importante temática.

**Palavras-chave:** Baterias. Eletrônicos. Lâmpadas.

#### INTRODUÇÃO

Os Resíduos Sólidos Domiciliares Especiais (RSDE) são os produtos descartados resultantes das atividades humanas em sociedade que, em razão das suas propriedades químicas perigosas, exigem acondicionamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final ambientalmente adequada a fim de evitar danos à saúde pública e ao meio ambiente (BRASIL, 2010). Estes produtos podem ser lâmpadas fluorescentes, pilhas, baterias e eletroeletrônicos, entre outros.

Neste contexto, enquadra-se a logística reversa que é o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos (por exemplo: lâmpadas fluorescentes, pilhas, baterias e eletroeletrônicos) ao setor empresarial, para reaproveitamento em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Desta forma, também se insere a responsabilidade compartilhada que são as atribuições realizadas em conjunto com fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e responsáveis pelos serviços públicos de limpeza e manejo dos resíduos sólidos. Isto, para diminuir a quantidade de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde pública e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010). A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) trabalha com os RSDE, a logística reversa e a responsabilidade compartilhada.

Com base no exposto, neste estudo tivemos como objetivos: identificar os principais hábitos de descarte de resíduos sólidos especiais por parte de acadêmicos ingressantes nos cursos de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) e conhecer o grau de conhecimento destes sobre a PNRS, pressupondo que pessoas que possuem acesso a informações acadêmicas específicas tenham comportamento e conhecimento diferenciado em relação aos resíduos sólidos especiais.

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

Conforme já explicitado, os RSDE podem ser lâmpadas fluorescentes, pilhas, baterias, entre outros. Existem diversos tipos de lâmpadas, cada qual com a sua aplicação e finalidade específica, mas são as lâmpadas fluorescentes (LF) que podem causar contaminação devido, principalmente, ao mercúrio (Hg) utilizado na sua produção (KOLICHESKI *et al.*, 2014). O Hg representa uma ameaça para o meio ambiente, pois é tóxico, persistente, bioacumulativo e está sendo dispersado, continuamente através da superfície terrestre. Por ser persistente, não pode ser eliminado e permanece no meio ambiente. Devido a isto, as LF devem obrigatoriamente ser tratadas e recicladas (PAWLOWSKI, 2011). Estima-se que no Brasil são produzidas cerca de 12,35 milhões de unidades por ano, considerando esse processamento total (acréscimo dos produtos

importados) e que o índice de reciclagem é de somente 6%, obtém-se uma geração de resíduos de aproximadamente 206 milhões de unidades usadas (POLANCO, 2007).

Quanto às pilhas e baterias, são consideradas usinas portáteis que transformam energia química em energia elétrica e se apresentam sob várias formas (cilíndricas, retangulares, botões), conforme a finalidade a que se destinam. São classificadas de acordo com seus sistemas químicos e podem ser divididas em primárias (descartáveis) e secundárias (recarregáveis). Além disto, podem constituir metais pesados, tais como cádmio, chumbo, cobre, manganês, mercúrio, níquel e zinco (PINHEIRO *et al.*, 2009a).

Anualmente são comercializadas cerca de 1,2 bilhão de pilhas e 400 milhões de baterias no Brasil e, por habitante, existe um consumo médio de seis pilhas e duas baterias anuais. Por exemplo, em São Paulo, estima-se que exista uma geração de quase 100 milhões de pilhas e baterias pós-consumo todos os anos. Deste total, cerca de 40% são produtos importados e que não passam por controle de qualidade e de atendimento às normas brasileiras (SÃO PAULO, 2014).

Os eletroeletrônicos são produtos cujo funcionamento depende do uso de corrente elétrica ou de campos eletromagnéticos e podem ser divididos em quatro categorias: Linha Branca: refrigeradores e congeladores, fogões, lavadoras de roupa e louça, secadoras, condicionadores de ar; Linha Marrom: monitores e televisores de tubo, plasma, LCD e LED, aparelhos de DVD e VHS; Linha Azul: eletrodomésticos em geral; Linha Verde: computadores desktop e laptops, acessórios de informática, tablets e telefones celulares (AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL, 2013).

Ao fim de sua vida útil, esses produtos passam a ser considerados resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE). Idealmente, só chegam a esse ponto uma vez esgotadas todas as possibilidades de reparo, atualização ou reuso. Contudo, estima-se que em 2014 foram geradas mais de 1,4 toneladas de REEE no Brasil, o que corresponde a 36% do REEE da América do Sul (GSMA LATIN AMERICANA, 2015). Os REEE são compostos por plásticos, vidros, componentes eletrônicos, metais pesados entre outros. Esses elementos são potencialmente tóxicos e resultam em dois tipos de riscos: contaminação das pessoas que manipulam e contaminação do meio ambiente (SILVA *et al.*, 2007).

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da pesquisa exploratória (GIL, 2017) foi elaborado um questionário estruturado com 13 perguntas, onde os sujeitos da pesquisa poderiam assinalar mais de uma resposta de acordo com suas concepções. Das 13 questões propostas, nove foram referentes aos RSDE, com as quais procuramos identificar os hábitos de descarte de RSDE e quatro referentes à PNRS, onde procuramos conhecer o grau de conhecimento sobre esta. Além disso, 12 questões foram de natureza quantitativa e uma de natureza qualitativa. Para esta pesquisa, tivemos a participação de 37 acadêmicos dos cursos de Ciências Biológicas, da UFPEL, sendo 21 do curso de Licenciatura e 16 do curso de Bacharelado.

Foram marcados horários e datas com os dois professores de uma disciplina (um do curso de Licenciatura e o outro do curso de Bacharelado) e aplicado o questionário, com duração de cerca de 30 minutos, no período de aula da disciplina.

Após a coleta dos dados, os mesmos foram organizados, analisados e, assim, sintetizadas as informações coletadas. Para a análise da pergunta qualitativa foram estruturadas unidades de significado de acordo com as respostas apresentadas pelos sujeitos da pesquisa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As respostas dos acadêmicos referentes às questões foram organizadas, sempre que possível, em tabelas ou em figuras para que pudéssemos ter uma visão global do que as respostas estavam demonstrando.

No que se refere à questão 1, "*Quais destes resíduos você considera Resíduos Sólidos Domiciliares Especiais?*", os números absolutos de respostas frente à questão foram: 37 Pilhas e Baterias, 32 Televisão e lâmpadas, 33 Notebook, 27 Refrigerador, 3 Liquidificador, oito (8) Metal e dois (2) Vidro. Sendo assim, a maioria dos acadêmicos demonstrou que possui conhecimento sobre o que são RSDE.

As respostas referentes à questão 2, "*Qual ou quais destes contaminantes podem estar presentes ou serem liberados dos Resíduos Sólidos Domiciliares Especiais?*", os números absolutos referentes à questão foram: 35 Metais pesados (por exemplo: Chumbo, Cádmio e Mercúrio), oito (8) Gás carbônico, cinco (5) Chorume, quatro (4) Pesticidas e um (1) Nenhum.

Assim, como na questão anterior, a maioria possui o conhecimento de que os principais contaminantes presentes e que podem ser liberados se os RSDE forem mal armazenados, mal manipulados e/ou mal destinados são os metais pesados.

Diante disto, parece que os conhecimentos adquiridos anteriormente à entrada na universidade, quem sabe a partir do Ensino Básico (em especial no Ensino Fundamental e no Ensino Médio), mídias em geral, conversas com os pais ou amigos e/ou em cursos pré-vestibulares/Exame Nacional do Ensino Médio, foram suficientes para o entendimento destas questões.

Por exemplo, no Estado do Paraná já há um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para as escolas Paranaenses. Esse Plano, gerado a partir de uma ação conjunta de diversas entidades públicas, entre elas a Secretaria de Meio Ambiente e a Secretaria de Educação, visa colaborar com as comissões de coleta seletiva e tem expectativa de atingir cerca de 3000 escolas (BRUNI e BARBOSA, 2016). Assim como também o Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento Sustentável da Serra Gaúcha que contempla 14 municípios e a totalidade das suas escolas (CISGA, 2018).

Há poucos exemplos de como os RSDE, especificamente, estão sendo estudados nas escolas; ao contrário da coleta seletiva que ainda tem sido prioridade (SOUZA, 2015; KLIPPEL, 2015). Quanto ao envolvimento da mídia com RSDE observamos que já há uma maior divulgação de campanhas direcionadas para a população em geral; nenhuma específica para estudantes.

O principal contaminante dos RSDE são os metais pesados e a grande maioria dos entrevistados demonstrou possuir este conhecimento, contudo as respostas da questão 3 demonstraram que parte dos acadêmicos não tinham conhecimento sobre isso. Os números absolutos de respostas frente à questão *“Onde os Resíduos Sólidos Domésticos Especiais podem causar contaminação?”* foram: 37 Solo, 35 Água, 21 Alimentos e 16 Ar.

De uma maneira geral, o Ar não sofre contaminação por RSDE, mas Água, Solo e, por consequência, Alimentos sim. Isso pode ser explicado devido à falta de conhecimento prévio logo no início do curso de Ciências Biológicas sobre o ciclo de contaminantes como os metais pesados. Estes conhecimentos só serão trabalhados, de forma mais aprofundada, a partir da metade do curso em, por exemplo, disciplinas de Ecologia (obrigatórias) ou Educação Ambiental (optativas) (CABio UFPel, 2011). Em relação às questões 4, 5 e 6, organizadas na Tabela 1, *“Você realiza a separação dos Resíduos Sólidos Domésticos Especiais?”*; *“Você conhece algum ponto de coleta dos Resíduos*

*Sólidos Domésticos Especiais no município de Pelotas?”; e “Você realiza a entrega dos Resíduos Sólidos Domésticos Especiais nos pontos de coleta?”*, obtivemos os seguintes resultados:

**Tabela 1.** Número absoluto de respostas frente às questões “Você realiza a separação dos Resíduos Sólidos Domésticos Especiais?; Você conhece algum ponto de coleta dos Resíduos Sólidos Domésticos Especiais no município de Pelotas? e Você realiza a entrega dos Resíduos Sólidos Domésticos Especiais nos pontos de coleta?”

<b>Questões</b>	<b>SIM</b>	<b>NÃO</b>
Você realiza a separação dos Resíduos Sólidos Domésticos Especiais?	26	11
Você conhece algum ponto de coleta dos Resíduos Sólidos Domésticos Especiais no município de Pelotas?	14	23
*Você realiza a entrega dos Resíduos Sólidos Domésticos Especiais nos pontos de coleta?	15	21

\*Uma resposta foi anulada.

Analisando as respostas das três questões acima, levantamos uma problemática, pois notamos que os entrevistados realizam a separação, desconhecem os pontos de entrega e, por fim, não realizam a entrega dos RSDE nos pontos de coleta. Tais atitudes revelam que há uma quebra no sistema de logística reversa, onde o ciclo inicia adequadamente, contudo, provavelmente, termina em descarte inadequado desses materiais. Assim, podemos considerar que a falta de conscientização não é o problema principal e sim a falta de informações sobre os pontos de coleta desses materiais para a destinação do descarte correto.

Paralelo à quebra do sistema de logística reversa, também ocorreu o rompimento do processo de educação ambiental, o qual assim como a primeira, não completou seu ciclo. Neste contexto, ressaltamos que Educação Ambiental é o processo por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade (BRASIL, 1999). Além disto, a Educação Ambiental é componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não-formal (BRASIL, 1999).

As respostas referentes às perguntas específicas sobre destinação adequada dos RSDE (pilhas e baterias, lâmpadas e eletroeletrônicos) refletiram que a maioria não sabia como se dava o destino desses materiais. Os dados revelaram que 64,9% dos acadêmicos não sabiam a resposta correta referente a destinação de pilhas e baterias; que 73% não sabiam a resposta correta referente a lâmpadas e que 62,2% não sabiam a resposta correta referente a eletroeletrônicos (Tabela 2).

A resposta correta referente à destinação adequada de pilhas e baterias é o aterro sanitário e/ou industrial. Já as respostas referentes à destinação de lâmpadas são diversas, tais como: aterro industrial, trituração e descarte, encapsulamento, incineração, reciclagem e recuperação (PINHEIRO *et al.*, 2009a). Enquanto que as respostas para a destinação de eletroeletrônicos são aterro sanitário e/ou industrial e reutilização/reciclagem (PINHEIRO *et al.*, 2009a, 2009b). Nos três casos, todos os destinos adequados dependem de fatores tais como: limites de chumbo, cádmio e mercúrio nos materiais, composição das lâmpadas e tecnológicas utilizadas pela empresa responsável pelo processo (PINHEIRO *et al.*, 2009a, 2009b).

**Tabela 2.** Número absoluto de respostas frente às questões “Você sabe o(s) destino (s) adequado dos RSDE/ pilhas e baterias após a entrega?”; “Você sabe o(s) destino (s) adequado dos RSDE/ lâmpadas após a entrega?” e “Você sabe o(s) destino (s) adequado dos RSDE/ eletro/elettrônicos após a entrega?”.

<b>Destinos/RSDE</b>	<b>Pilhas/Baterias</b>	<b>Lâmpadas</b>	<b>Eletroeletrônicos</b>
Aterro sanitário e/ou industrial	04	03	02
Encapsulamento	-	02	-
Incineração	-	02	-
Lixões	-	-	-
Reutilização/Reciclagem	10	02	12
Trituração e descarte	-	05	-
Não sei	24	27	23

Em pesquisa, realizada em Pelotas, Rio Grande do Sul, foi demonstrado que mais de 58% dos estabelecimentos comerciais recebem as lâmpadas fluorescentes, porém com tempo de armazenamento indeterminado, e estes apontam o não recebimento das mesmas pelos fornecedores. Cerca de 95% dos habitantes entrevistados possuíam conhecimento sobre a destinação das lâmpadas usadas, que vão para o aterro sanitário em

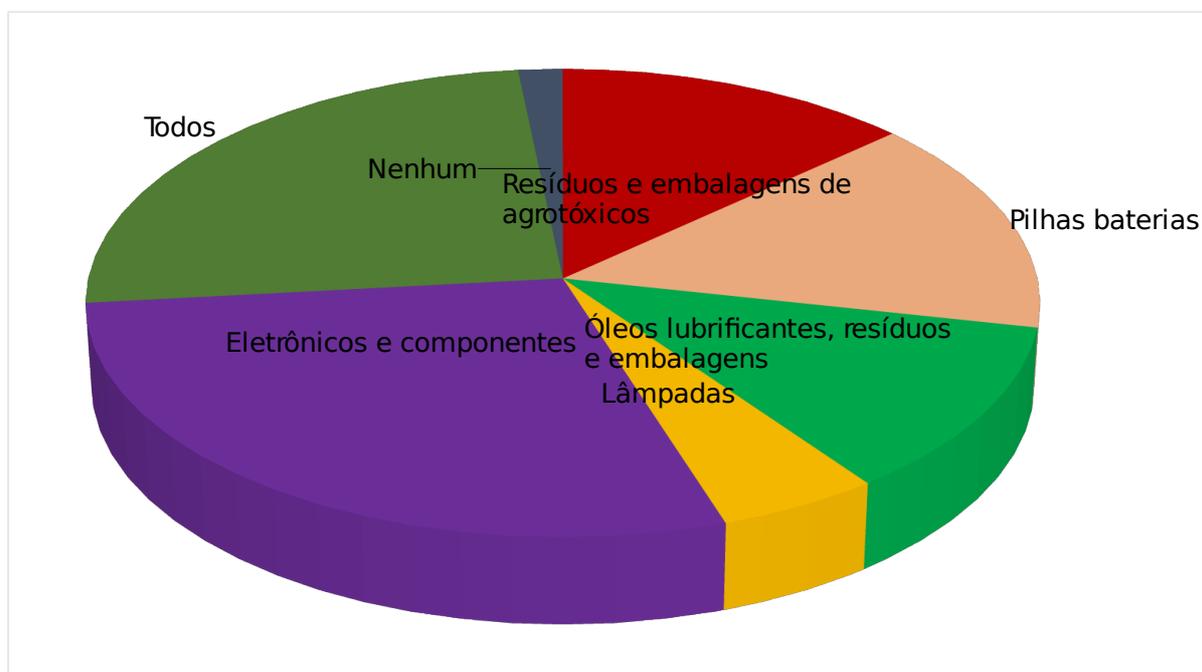
conjunto com o resíduo doméstico comum e sabem que existem falhas nas informações sobre os elementos tóxicos contidos nas lâmpadas (SAMPAIO e SÁ, 2009).

Em outro estudo, realizado em São Paulo, São Paulo, foi demonstrado que a maioria dos consumidores descarta as lâmpadas fluorescentes no lixo orgânico, mas considera o local correto para disposição os postos de reciclagem e de coleta seletiva, sendo uma grande dificuldade a falta de pontos de coleta suficientes (LARUCCIA *et al.*, 2011).

Sobre a questão 10, “*Você possui algum conhecimento sobre a lei 12.305/2010 (PNRS), principalmente no que tange a logística reversa e a responsabilidade compartilhada?*”, apenas um acadêmico indicou que possui conhecimento desta lei. Considerando que dos 37 acadêmicos questionados, um não respondeu a questão.

As repostas referentes à questão 11 “*Quais destes resíduos são alvo da logística reversa?*” demonstraram que 43,2% sabiam a resposta correta, ou seja, todos os resíduos são suscetíveis à logística reversa, considerando que um acadêmico não respondeu a questão (Figura 1).

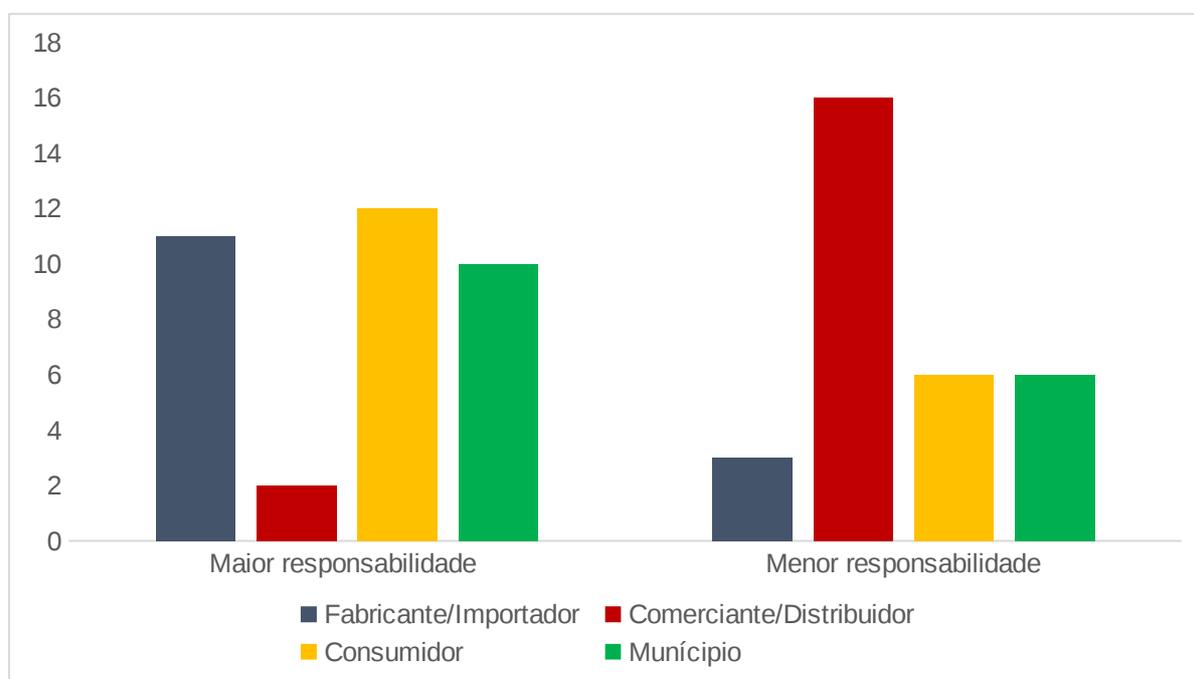
**Figura 1.** Respostas dos acadêmicos dos cursos de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Pelotas, sobre a questão 11 “*Quais destes resíduos são alvo da logística reversa?*”.



A resposta dos acadêmicos no que tange aos conhecimentos sobre a PNRS surpreende principalmente devido a, além de esses indivíduos fazerem parte da sociedade, eles também estarem integrados em um curso de graduação da área ambiental. Isto, provavelmente, se deve à falta de divulgação da temática, de conhecimento, de discussões e conseqüentemente de obrigações da sociedade com o meio ambiente. Além do mais, dentro do curso de Ciências Biológicas da UFPel, esta temática será trabalhada somente no terço final do curso, em disciplinas como Gestão e Licenciamento Ambiental e Direito Ambiental (CABio UFPel, 2011).

Quanto à resposta sobre a questão 12, “*Marque 1 para quem você acha que tem maior responsabilidade e 2 para quem você acha que tem menor responsabilidade pelo recolhimento, reciclagem e descarte correto dos RSDE*”, percebemos que os acadêmicos acreditam que o maior responsável pelo recolhimento, reciclagem e descarte dos RSDE é o consumidor e que a menor responsabilidade é do comerciante/distribuidor (Figura 2).

**Figura 2.** Respostas dos acadêmicos dos cursos de Ciências Biológicas, da Universidade Federal de Pelotas, sobre a questão 12 “*Marque 1 para quem você acha que tem maior responsabilidade e 2 para quem você que tem menor responsabilidade pelo recolhimento, reciclagem e descarte correto dos Resíduos Sólidos Domésticos Especiais*”.



Conforme a legislação, a responsabilidade deve ser compartilhada e cada grupo tem sua parcela neste compromisso socioambiental (BRASIL, 2010). Os consumidores devem efetuar a devolução dos produtos e das embalagens, objetos de logística reversa, após o uso, aos comerciantes/distribuidores.

Os comerciantes/distribuidores devem efetuar a devolução dos produtos e embalagens aos fabricantes/importadores. E por fim, os fabricantes/importadores devem dar destinação ambientalmente adequada aos produtos e as embalagens reunidos ou devolvidos, sendo o rejeito encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada, na forma estabelecida pelo órgão competente e/ou pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Neste contexto, o município pode ser o encarregado pelas atividades exigidas pelo sistema de logística reversa dos produtos e embalagens. Contudo, todas as ações realizadas pelo mesmo devem ser remuneradas, conforme previamente acordado entre as partes interessadas (fabricantes/importadores e distribuidores/comerciantes) (BRASIL, 2010).

Em relação à questão 13, "*Você gostaria de fazer alguma reflexão sobre este assunto? Se sim, qual?*", foram estruturadas em um primeiro momento, as seguintes unidades de significados: a) Não respondeu; b) Não possui conhecimento; c) Mais pontos de coletas; d) Informações sobre pontos de coletas; e) Empresas se recusam a informar o destino do material coletado; f) Tema importante; g) Compartilhar o tema; h) Produtos biodegradáveis; i) Maior fiscalização; j) Campanhas de conscientização; l) Disciplina de Educação Ambiental na escola; m) Divulgação da legislação ambiental.

Após esta primeira análise, percebemos que havia unidades de significados correlacionadas: c) Mais pontos de coletas e d) Informações sobre pontos de coletas que formaram a unidade Informações sobre os pontos de coleta; e) Empresas se recusam a informar o destino do material coletado e i) Maior fiscalização, que geraram a unidade Importância da fiscalização das empresas; g) Compartilhar o tema j) Campanhas de conscientização, l) Disciplina de Educação Ambiental na escola e m) Divulgação da legislação ambiental, que originaram a unidade Divulgação de temáticas ambientais. Assim, foi estruturado um segundo grupo de unidades de significados: a) Não respondeu; b) Não possui conhecimento; c) Informações sobre os pontos de coleta; d) Importância da fiscalização das empresas; e) Tema importante; f) Divulgação de temáticas ambientais e g) Produtos biodegradáveis (Tabela 3).

**Tabela 3.** Unidades de significado que emergiram das respostas dos acadêmicos participantes da pesquisa. \*Para esta questão os acadêmicos foram codificados por números de 1 a 37.

<b>Unidades de significado</b>	<b>Números relativos aos entrevistados*</b>
Não respondeu	1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 11, 12, 13, 14, 16, 18, 20, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37
Não possui conhecimento	7, 24, 34
Informações sobre pontos de coleta	7, 8, 24
Importância da fiscalização das empresas	17, 19
Tema importante	7
Divulgação de temáticas ambientais	15, 21, 22, 23, 24
Produtos biodegradáveis	10

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante de todas as respostas e das reflexões realizadas pelos acadêmicos entrevistados, percebemos que os temas RSDE e PNRS devem ser bem mais debatidos tanto na sociedade quanto na academia. Percebemos que existe falta de informações desde o que são RSDE até onde se deve encaminhá-los para a destinação adequada e falta de conhecimentos sobre os direitos e deveres ambientais, principalmente, dos consumidores.

Para a reversão deste quadro sugerimos a elaboração e implementação de projetos sérios e comprometidos na área de RSDE e PNRS e que a partir daí sejam realizadas campanhas em níveis municipais, estaduais e federal que propiciem a tomada das informações para a geração de conhecimentos à sociedade e academia. Somente desta forma, será possível o real funcionamento do sistema de logística reversa e de responsabilidade compartilhada.

### REFERÊNCIAS

ABDI - AGÊNCIA BRASILEIRA DE DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica.** Brasília: ABDI, 2013. 178 p. Disponível em:

[http://www.comexresponde.gov.br/portalmDIC//arquivos/dwnl\\_1416934886.pdf](http://www.comexresponde.gov.br/portalmDIC//arquivos/dwnl_1416934886.pdf). Acesso em: 28 abr. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9605 de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 137, n. 147, p. 3. 3 ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 136, n. 79-E, p. 1. 27 abr. 1999.

BRUNI, V. C.; BARBOSA, M. **Plano de gerenciamento de resíduos nas escolas paranaenses**. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Curitiba: SEED-PR, 2016. 46 p.

CABio UFPel - Centro Acadêmico dos Cursos de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Pelotas. **Universidade Federal de Pelotas. Pelotas**. Pelotas, RS: CABio, 2011. Disponível em: <https://dacbufpel.wordpress.com/alunos/disciplinas/>. Acesso em: 15 jun. 2020.

CISGA - Consórcio Intermunicipal de Desenvolvimento Sustentável da Serra Gaúcha. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos**. Garibaldi: CISGA, 2018. 454 p. Disponível em: <http://www.cisga.com.br/fotos/educacao/arquivos/419f8ec37001d1f19794fda21d37dc26.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2021.

- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 192 p.
- GSMA LATIN AMERICANA. **eWaste em América Latina: Análisis estadístico y recomendaciones de política pública**. Barcelona: GSMA LATIN AMERICANA, 2015. 37 p. Disponível em: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2015/11/gsma-unu-ewaste2015-eng.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2019.
- KLIPPEL, A. S. **Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Escolas Públicas**. 2015. 41 p. Monografia de Especialização (Especialização em Gestão Ambiental me Municípios) – Pólo UAB do Município de Foz do Iguaçu, Modalidade de Ensino a Distância, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Foz do Iguaçu, 2015. KOLICHESKI, M. B.; FISCHER, K.; BACILA, D. M. Estudo sobre reciclagem de lâmpadas fluorescentes. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, ed. especial, p. 21-30, 2014.
- LARUCCIA, M. M. *et al.* A study of consumer behavior on recycling of fluorescent lamps in São Paulo. **Int. J. Bus. Adm.**, Ontário, v. 1, n. 3, p. 101, 2011.
- PAWLOWSKI, L. Effect of mercury and lead on the total environment. **Environ. Prot. Eng.**, Breslávia, v. 37, n. 1, p. 105-117, 2011.
- PINHEIRO, E. L. *et al.* **Plano de gerenciamento integrado de resíduos pilhas, baterias e lâmpadas - PGIRPBL**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2009a. 36 p.
- PINHEIRO, E. L. *et al.* **Plano de gerenciamento integrado de resíduos de equipamentos elétricos, eletrônicos – PGIREEE**. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2009b. 40 p.
- POLANCO, S. L. C. **A situação da destinação pós-consumo das lâmpadas de mercúrio no Brasil**. 2007. 119 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2007.
- SAMPAIO, M. R. F.; SÁ, J. S. Diagnóstico da situação de lâmpadas fluorescentes pós-consumo em Pelotas, RS. *In*: MOSTRA DE TRABALHOS DE TECNOLOGIA AMBIENTAL, 2., 2009, Bento Gonçalves. **Resumos [...]**. Rio Grande do Sul: Fundaparque, 2009.
- SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 54.991, de 2 de abril de 2014. Aprova as alterações e consolida o Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Município de São Paulo (2014/2033). **Diário Oficial [do] Estado de São Paulo**, São Paulo, v. 59, n. 65, p. 49, 5 abr. 2014. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/diarios/68664995/dosp-suplementos-doc-05-04-2014-pg-49>. Acesso em: 28 abr. 2021.

SILVA, B. D.; MARTINS, D. L.; OLIVEIRA, F. C. de. **Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil**, Santo André, 2007. 59 p.

SOUZA, R. A. de. **Coleta seletiva-escolar: O reaproveitamento de resíduos sólidos no ambiente escolar**. 2015. 67 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Universidade Camilo Castelo Branco, São José dos Campos, 2015.

## SOBRE OS ORGANIZADORES

### **Eduarda Medran Rangel**

Professora de Ciências na Prefeitura Municipal de Rio Grande, com graduação em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Licenciatura em Química pela Universidade de Franca, Especialização em Educação Ambiental Urbana pela Universidade Aberta do Brasil, Especialização em Química Ambiental pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense , mestrado e doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas. Têm experiência na área de análise de metais pesados, monitoramento ambiental, química ambiental, gerenciamento de resíduos sólidos, tratamento de efluentes, materiais cerâmicos e cálculos relacionados a projetos hidráulicos. Realiza atualmente pesquisas na área da educação, bioinformática e meio ambiente.

### **Daiana Kaster Garcez**

Doutora e Mestra em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Federal do Rio Grande. Possui graduação em Ciências Biológicas, ênfase em Zoologia, pela Universidade Federal de Pelotas, Licenciatura em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense. Tem experiência na área de Genética, com ênfase em Genética Animal e Evolutiva, desenvolvendo pesquisas relacionadas ao entendimento de padrões micro e macroevolutivos em peixes anuais da família Rivulidae. Realiza atualmente pesquisas na área da educação, bioinformática e meio ambiente.

### **Louise Vargas Ribeiro**

Doutora e Mestra em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas (UFPeL), com graduação em Ciências Biológicas Bacharelado pela UFPeL, Graduada do Curso de Formação Pedagógica para Graduados não Licenciados pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSUL) e com Especialização em Química Ambiental (IFSUL) -Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Ecotoxicologia. Trabalhou com o Projeto Inovações em minhocultura: Tecnologia social para a sustentabilidade da agricultura familiar. Já participou como colaboradora do Núcleo de Estudos em Meio Ambiente da UFPeL, onde atuou na área de tratamento de resíduos da produção animal (compostagem e vermicompostagem). Realiza atualmente pesquisas na área da educação, bioinformática e meio ambiente.

## SOBRE OS AUTORES

**Beatriz Pedrotti Fabião**, Mestre em Engenharia e Ciências Ambientais pelo IFSul (2019); Pós-graduada em Química Ambiental pelo IFSul (2016); Tecnóloga em Gestão Ambiental pela mesma Instituição (2012) e Técnica em Química, pela Escola Técnica Federal de Pelotas (1986). Durante minha formação, participei dos Grupos de Pesquisa em Eletroquímica (IFSul); Tecnologias Ambientais (IFSul) e o Grupo de Pesquisa em Contaminantes Ambientais (GPCA-IFSul), atuando principalmente nos seguintes temas: monitoramento de parâmetros físico-químicos de águas e sedimentos; Cromatografia Gasosa em amostras de sedimentos, e processos de Tratamento de Efluentes por Eletrocoagulação e Wetlands Construídos.

**Bruna Moreira Sell**, Possui graduação em Engenharia Hídrica (2018) pela Universidade Federal de Pelotas (UFPeL). É mestre (2020) e doutoranda pelo Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Pelotas (UFPeL). Cursa graduação em Formação Pedagógica para Graduados não Licenciados do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense. Atuou como bolsista do grupo PET (Programa de Educação Tutorial), desenvolvendo atividades de ensino, pesquisa e extensão. Foi bolsista de Iniciação Científica (CNPq) na área de estruturas hidráulicas. Estagiou na Usina Hidrelétrica de Itaipu, na Divisão de estudos Hidrológicos e Energéticos. Foi bolsista monitora na área de Estatística, Hidrologia e Hidrossedimentologia. Na área de Engenharia Hidráulica atuou principalmente nos temas: i) estruturas de dissipação de energia; ii) vertedouros em degraus; iii) esforços hidrodinâmicos; iv) sistemas de enchimento e esgotamento; v) modelagem física de escoamentos. Atualmente compõe o Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica em Bacias Hidrográficas onde desenvolve atividades de pesquisa trabalhando com modelagem hidrológica e hidrodinâmica, usando programação, para aplicação em bacias hidrográficas.

**Carla Camille da Cruz Antunes**, acadêmica do Curso Técnico em Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Jacobina.

**Daiana Kaster Garcez**, Doutora e Mestre em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Federal do Rio Grande. Possui graduação em Ciências

Biológicas, ênfase em Zoologia, pela Universidade Federal de Pelotas, Licenciatura em Ciências Biológicas pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense. Tem experiência na área de Genética, com ênfase em Genética Animal e Evolutiva, desenvolvendo pesquisas relacionadas ao entendimento de padrões micro e macroevolutivos em peixes anuais da família Rivulidae. Realiza atualmente pesquisas na área da educação, bioinformática e meio ambiente.

**Daniel Ricardo Arsand**, Possui graduação em Química Industrial pela Universidade Federal de Santa Maria (1997), mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2001) e doutorado junto a Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e Universität Freiburg, Alemanha. É professor no Instituto Federal Sul-rio-grandense e no Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências Ambientais (PPGECA) deste Instituto.

**Delaine Mercês Oliveira**, acadêmica do Curso Técnico em Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Jacobina.

**Eduarda Medran Rangel**: Graduada em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (2013), Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (2015), Licenciatura em Química (R2) pela Universidade de Franca (2019), Especialista em Educação Ambiental Urbana pela Universidade Aberta do Brasil (2015), Especialista em Química Ambiental pelo Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (2016), mestra e doutora em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas (2016)(2020). Atua como professora no município de Rio Grande e no Instituto Federal Sul-Rio-Grandense campus CAVG.

**Emanuele Baifus Manke**, Possui Graduação em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Pelotas (2014). Mestrado em Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pelotas (2016). Doutorado em Manejo e Conservação do Solo e da Água pela Universidade Federal de Pelotas (2020). Profissionalmente assumiu a vaga de professor substituto na Graduação em Engenharia Hídrica da Universidade Federal de Pelotas (2019). Experiência na área de docência, especificamente, em Saneamento Ambiental: Mecânica dos Fluidos, Sistemas de Abastecimento e Tratamento de Água, Sistemas de Tratamento de Efluentes e Drenagem Urbana.

**Fabiana Priebe Holz**, É Gestora Ambiental pelo Instituto Federal Sul-rio-grandense - Campus pelotas (2012). Durante a graduação atuou nas áreas de transição agroecológica e tratamento de resíduos orgânicos na Embrapa Clima Temperado como estagiária e no Grupo de Pesquisas em Contaminantes Ambientais no IFSUL nas áreas de monitoramento ambiental e indicadores biogeoquímicos. Possui pós-graduação em nível de especialização em Educação Ambiental pela Universidade Federal de Rio Grande, onde desenvolveu projetos paralelos a sua atuação socioambiental no movimento Piquenique Cultural em Pelotas, desenvolvendo trabalhos práticos e acadêmicos para evidenciar o caráter socioambiental do movimento e evento. Participa do grupo de Pesquisa em Gerenciamento Costeiro da Universidade federal de Rio Grande onde desenvolve pesquisa na área de Planejamento e Gestão ambiental de Ecossistemas Marinhos e Costeiros, trabalhando principalmente com metodologias de criação e categorização de Unidades de conservação em municípios costeiros.

**Fabiane Borba Bergmann**, Formada em Ciências Biológicas - Bacharelado pela Universidade Federal de Pelotas (2008/02) e em Ciências Biológicas - Licenciatura também pela Universidade Federal de Pelotas em (2016/02), mestre em Biologia de Ambientes Aquáticos Continentais pela Universidade Federal do Rio Grande (2011) e doutora em Biodiversidade Animal pela Universidade Federal de Santa Maria (2016).

**Haila Victoria Silva Batista**, acadêmica do Curso Técnico em Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Jacobina.

**Hugo Leonardo da Cunha Amaral**, Possui graduação em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Pelotas (2008), mestrado em Biodiversidade Animal pela Universidade Federal de Santa Maria (2011) e doutorado no Programa de Pós-graduação em Parasitologia pela Universidade Federal de Pelotas (2015).

**Jander Lopes Fonseca**, Técnico em Eletromecânica e Graduando em Engenharia dos Materiais na Universidade Federal de Sergipe.

**Louise Vargas Ribeiro**, Doutora e Mestre em Agronomia pela Universidade Federal de Pelotas (UFPel), com graduação em Ciências Biológicas Bacharelado pela UFPel, Graduada do Curso de Formação Pedagógica para Graduados não Licenciados pelo

Instituto Federal Sul-Rio-Grandense (IFSUL) e com Especialização em Química Ambiental (IFSUL) -Tem experiência na área de Ecologia, com ênfase em Ecotoxicologia. Trabalhou com o Projeto Inovações em minhocultura: Tecnologia social para a sustentabilidade da agricultura familiar. Já participou como colaboradora do Núcleo de Estudos em Meio Ambiente da UFPel, onde atuou na área de tratamento de resíduos da produção animal (compostagem e vermicompostagem). Realiza atualmente pesquisas na área da educação, bioinformática e meio ambiente.

**Matheus Hirdes Antunes**, Graduado em Gestão Ambiental (2017) e mestre em Engenharia e Ciências Ambientais (2020) pelo Instituto Federal Sul-rio-grandense Câmpus Pelotas. Doutorando em Oceanologia na Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

**Mayka da Silva Oliveira Araújo**, acadêmica do Curso Técnico em Mineração do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – Campus Jacobina.

**Natanael Rodrigo Xavier Pires**: Graduado em Tecnologia em Gestão Ambiental (2011) e mestre (2014) em Ciência e Engenharia de Materiais (Biomateriais) pela Universidade Federal de Pelotas, tendo desenvolvido trabalho na área de Estudos em Química Analítica e Ambiental.

**Pedro José Sanches Filho**, Graduado em Licenciatura Plena em Química Esquema II pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (1988), graduado em Farmácia pela Universidade Católica de Pelotas (1988), Mestre em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1997) e Doutor em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2002) e Pós-doutor pela Universidade Nova de Lisboa (2007). Atualmente é professor e pesquisador do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense, líder do Grupo de Pesquisa em Contaminantes Ambientais.

**Priscila dos Santos Priebe**, Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. cursou o mestrado em Recursos Hídricos na Universidade Federal de Pelotas. É graduada em Engenharia Hídrica pela Universidade Federal de Pelotas e possui curso técnico em Edificações pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense. Foi professora substituta, na área de Gestão de Sistemas Hídricos no Centro de Desenvolvimento Tecnológico da Universidade

Federal de Pelotas. Atualmente é aluna do curso de Formação Pedagógica para Graduados não Licenciados do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense<sup>1</sup>.

**Robledo Lima Gil**, Bacharel e Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Pelotas (UFPEL). Possui Especialização e Mestrado conferidos pelo Programa de Pós-Graduação em Educação (PPGE) da UFPEL. Durante esse período, foi Professor Substituto da Faculdade de Educação (FaE/UFPEL), Estatutário da Secretaria Municipal de Educação (SME) de Pelotas e da Secretaria da Educação do Estado do Rio Grande do Sul (5ª CRE), exercendo suas funções docentes, respectivamente, nos cursos de Ciências Biológicas e de Pedagogia, no Ensino de Ciências (séries finais do Ensino Fundamental) e no Ensino de Biologia (Ensino Médio). Foi Professor Assistente da Universidade Federal de Goiás (UFG). Atualmente, é doutor pelo Programa de Pós-Graduação em Educação Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal do Rio Grande (FURG), Professor Associado I da Universidade Federal de Pelotas (UFPEL), atuando no Curso de Ciências Biológicas - Licenciatura e Professor do Programa de Pós-Graduação no Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM/UFPEL).

**Talita Fernanda Carvalho Gentil**, Geóloga, formada pela Universidade Federal do Ceará (UFC), Mestre em Geociências pela Universidade Federal de Sergipe (UFS) e Doutoranda em Geologia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Atualmente, Professora do Curso Técnico em Mineração e Coordenadora de Extensão no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) - Campus Jacobina. Tem experiência na área de Geociências, com ênfase em Geologia Regional, atuando principalmente nos seguintes temas: Mapeamento Geológico, Petrologia, Mineralogia, Prospecção Mineral, Geoquímica, Geologia Médica e Processamento de Resíduos Minerais.

**Tercio Graciano Machado**, Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) e Doutorado em Engenharia de Materiais (UFRN). Pesquisador com experiência em Projetos e processamentos de material metálico (metalurgia do pó) e cerâmico. Exerceu a função de Diretor do Polo de Inovação Salvador (PIS). Atualmente é Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) - Campus Jacobina.

**ÍNDICE REMISSIVO**

Ambiente Urbano.....	6, 7, 10
Blocos cerâmicos.....	6, 7, 23, 24, 25, 32, 34, 36, 37, 44
Caracterização Tecnológica.....	7, 23, 34
Cerâmica vermelha.....	6, 7, 34, 36
Efluentes hospitalares.....	6, 8, 98, 101, 103, 107, 108, 109, 110, 112
Fidrocarbonetos alifáticos.....	6, 8, 46, 48, 51, 53
Mananciais superficiais.....	6, 8, 65, 68
Polinizadores.....	6, 7, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 19
Química...6, 8, 24, 33, 45, 47, 48, 63, 80, 81, 82, 88, 91, 94, 95, 98, 100, 115, 118, 137, 139, 141, 145, 147	
Química de elementos.....	6, 8, 80, 95
Remediação ambiental.....	7
Resíduo mineral.....	7, 23, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 34, 40, 41, 42, 43, 44
Resíduos Sólidos Domiciliares Especiais.....	6, 9, 115, 119
Sensoriamento remoto.....	6, 8, 65, 66, 68, 69, 70, 72, 73, 74, 76, 77, 78, 79

ISBN 978-658997333-1



9 786589 973331