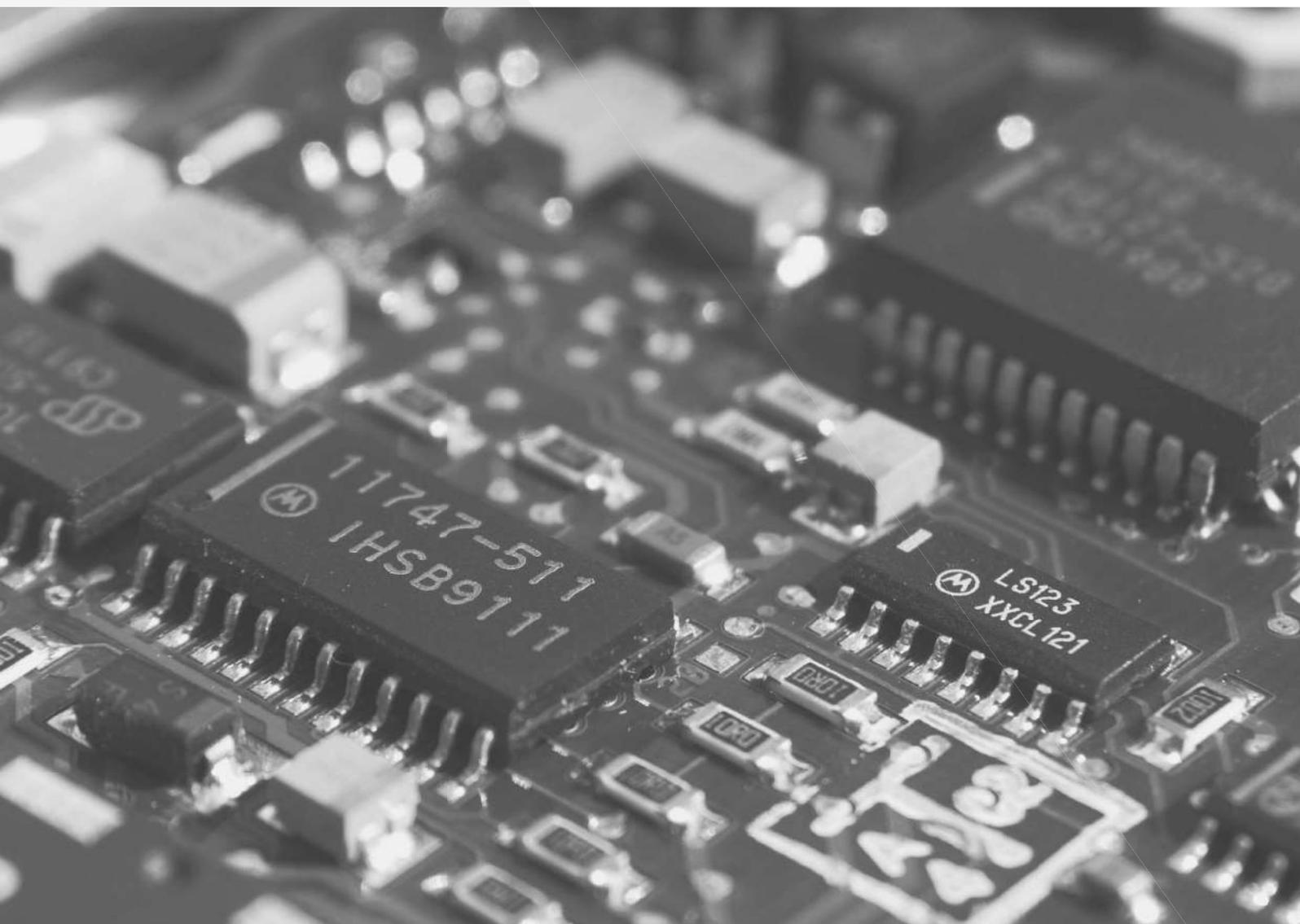


# PROYECTO DATARE



## REPORTE FINAL

NOVIEMBRE - 2021



**PROYECTO**  
DATARE

**Proyecto CNPq**  
N° 400555/2020-4  
CAAE: 44800521.2.0000.5268

**COORDINADOR**  
Lúcia Helena Xavier

**AUTORES**  
Lúcia Helena Xavier  
Marianna Ottoni  
Ricardo Sierpe

**FECHA**  
Outubro/2021

**EQUIPO TÉCNICO**

Raíssa André de Araujo  
Luciana Contador  
Rafaela Rebello  
João Coelho Neto  
Jéssica Cugula  
Leonardo de Abreu  
Larissa Freire  
Luca Apolônio  
Giovanna Novelo  
Adriely Lima  
Júlia Guzmán

**COLABORACIÓN**



Associação Brasileira de Reciclagem  
de Eletroeletrônicos e  
Eletrodomésticos (ABREE)



GM&CLog



Vertas

## **MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIONES**

### **Marcos Cesar Pontes**

Ministro de la Ciencia, Tecnología e Innovaciones

### **Paulo Alvim**

Secretario Ejecutivo SEMPI

### **Silvia Cristina Alves França**

Directora del Centro de Tecnología Mineral - CETEM

### **Marisa Nascimento**

Coordinadora COPMA - CETEM

### **CONTACTOS**

Grupo de pesquisa R3MINARE

<https://www.cetem.gov.br/antigo/reminare>

[r3minare@cetem.gov.br](mailto:r3minare@cetem.gov.br)

## CIP – Catalogação na Publicação

P969

Proyecto Datare: reporte final - noviembre 2021 / Lúcia  
Helena

Xavier (coord.) – Rio de Janeiro : CETEM/MCTI,  
2021.

35 p.

ISBN 978-65-5919-054-6.

1. Ciencia y Tecnología 2. Economía circular I. Xavier, Lúcia  
Helena. II. Ottoni, Marianna. III. Sierpe, Ricardo IV. Centro de  
Tecnología Mineral.

CDD 303.483

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do CETEM/MCTI  
Bibliotecário(a) Rosana Silva de Oliveira CRB7 – 5849

# INDEX

PRESENTACIÓN	05
CENTRO DE TECNOLOGÍA MINERAL - CETEM	06
R3MINARE	07
ECONOMÍA CIRCULAR	08
RESIDUO DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS	09
REGULACIÓN	11
PROYECTO DATARE	13
PUBLICACIONES R3MINARE	14
NUESTRA METODOLOGÍA	17
EMPRESAS IDENTIFICADAS	18
CÓDIGO CNAE	19
PARQUE ECOINDUSTRIAL	20
FLUJO DE RAEE	23
PUNTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA (PEVS)	25
RUTAS DE LOGÍSTICA INVERSA	26
CLUSTERING	27
SIS-DATARE	28
VOLUMEN PUESTO EN EL MERCADO	30
CONCLUSIÓN	34
REFERENCIAS	36

# PRESENTACIÓN

La gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en Brasil está regulada por la Ley Federal N ° 12.305/2010 (Brasil, 2010a) y por el Decreto Federal N ° 7.404/2010 (Brasil, 2010b), los cuales componen la Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS). En febrero de 2020 se publicó el Decreto N ° 10.240 (Brasil, 2020), que establece las metas y plazos para la recolección y disposición de esta categoría de residuos en el país. Juntos, estos instrumentos regulatorios permitieron la consolidación de directrices y motivaron el establecimiento de nuevos modelos de negocio para la gestión de RAEE en Brasil.

La falta de datos sobre las empresas que operan en el segmento, el volumen de RAEE generado, así como la ubicación y el potencial de consolidación del sistema de logística inversa representaron los principales obstáculos para la definición de estrategias y políticas públicas enfocadas.

En 2020 se publicó una nueva edición del Global E-Waste Monitor (Forti et al., 2020), a partir de la cual se estima que la generación per cápita de RAEE en Brasil equivale a 10,2 kg por habitante, volumen que asciende a una generación de 2,1 millones de toneladas de RAEE en 2019. Sin otro parámetro que pudiera dar el orden de magnitud de estos valores, el equipo de R3MINARE propuso una investigación que pudiera arrojar luz sobre el tema y permitir así un análisis más detallado de la economía eco-industrial, parque disponible para la gestión de RAEE, así como evaluar los indicadores de generación.

Así nació el Proyecto DATARE (2021-2020), coordinado por el Centro de Tecnología Mineral (CETEM), con la colaboración de agentes activos en el segmento. La encuesta del Proyecto DATARE llegó a 379 empresas que operan en el manejo de RAEE en el país, de las cuales el 67% se encuentran en la región Sureste, el 18,2% en la Región Sur y solo el 3% en la Región Norte, mostrando la desigual distribución del parque eco-industrial. Más de 1,7 millones de toneladas de equipos eléctricos y electrónicos se comercializaron en el año base 2018, lo que representa alrededor de 6,7 kg por habitante y año para la evaluación realizada a partir de los valores identificados para el 45% de los equipos enumerados en el decreto como objeto de la implantación del sistema de logística inversa.

Los resultados destacan tanto los desafíos cuanto el potencial de circularidad en la gestión de residuos eléctricos y electrónicos en el país y pueden llegar a contribuir a la consolidación de sistemas integrados, simbióticos y alineados con las mejores prácticas.



# CENTRO DE TECNOLOGÍA MINERAL - CETEM

CETEM es el único centro de investigación público dedicado exclusivamente a la tecnología mineral, cuyo objetivo es innovar y desarrollar tecnología para el sector minero-metalúrgico.

Los principales temas de investigación de CETEM se centran en la caracterización química, mineralógica y tecnológica, en el procesamiento de minerales, en los procesos metalúrgicos extractivos de rocas, menas y minerales industriales, y en el desarrollo y aplicación de tecnologías ambientales.

## NÚMEROS



43 años



21 laboratorios



4 plantas piloto



Bibliotecas



60,000 m<sup>2</sup> / 21.000 m<sup>2</sup> área construida



Más de 300 colaboradores



90% investigadores doctores

# 43 años

CETEM opera desde hace 43 años como el único centro público de investigación dedicado exclusivamente a la tecnología mineral en Brasil



# R3MINARE

El grupo de investigación del Centro de Tecnología Mineral (CETEM/MCTIC) surgió de la iniciativa de estudios aplicados a la Minería Urbana de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos desde mediados de 2017.

R3MINARE trae como objetivos contribuir, dentro de las premisas de la Economía Circular, con investigaciones en el campo científico-tecnológico y desarrollo de proyectos enfocados en la Minería Urbana de residuos eléctricos y electrónicos, para identificar el potencial de recuperación y reinserción de materias primas secundarias y materiales críticos en la cadena productiva

**Las investigaciones hechas por R3MINARE están relacionadas con los siguientes ejes temáticos:**



Economía circular



Gestión de RAEE



Minería urbana de RAEE



Soluciones de logística inversa de RAEE



Industria 4.0

# 2017

El grupo de investigación **R3MINARE/CETEM** actúa desde 2017 en estudios centrados en la minería urbana de RAEE



La Economía Circular corresponde a un modelo integrado, restaurador y regenerativo dirigido a los sistemas antrópicos. Este enfoque incluye la reducción o eliminación de residuos mediante ciclos optimizados de productos, componentes, materiales y servicios, los cuales se mantienen en su máxima utilidad y valor, como “nutrientes” para los ciclos técnicos y biológicos. Una economía circular exitosa contribuye a las tres dimensiones del desarrollo sostenible (Korhonen et al., 2018).

## Estrategias de valorización de RAEE

**REPENSAR:** Estructurar los procesos productivos y las formas de consumir.

**REDUCIR:** Reducir los volúmenes de RAEE o invertir en procesos de fabricación más eficientes que utilizan menos recursos naturales y materiales.

**LOGÍSTICA INVERSA:** Sistema de recogida y devolución de productos electrónicos desechados por los consumidores y desechados con el fin de proteger el medioambiente, según los requisitos legales.

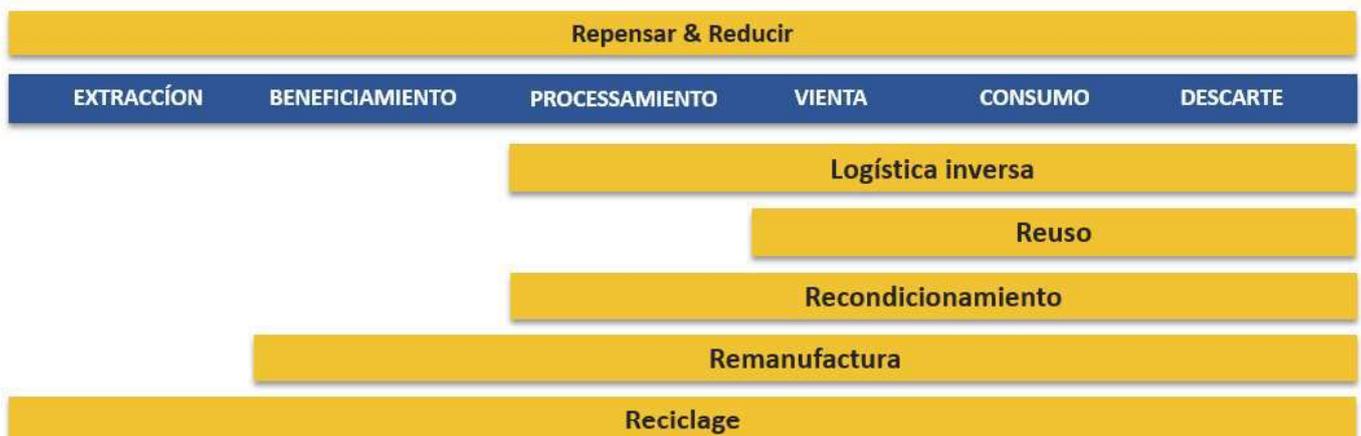
**REUTILIZACIÓN:** Solución para aumentar la vida útil de productos eléctricos y electrónicos.

**FABRICACIÓN INVERTIDA:** Procesos de transformación de residuos eléctricos y electrónicos en partes y piezas, insumos o materias primas, sin obtener nuevos productos.

**RECONDICIONAMIENTO:** Proceso de mantenimiento para aumentar la vida útil de los productos.

**REMANUFACTURACIÓN:** Utilización de piezas y componentes funcionales de productos desechados en futuros procesos de reacondicionamiento de nuevos productos.

**RECICLAJE:** Transformación fisicoquímica de materiales originales a partir de los residuos para recuperación de materiales y elementos contenidos en ellos mismo.



# RESIDUO DE APARATOS ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

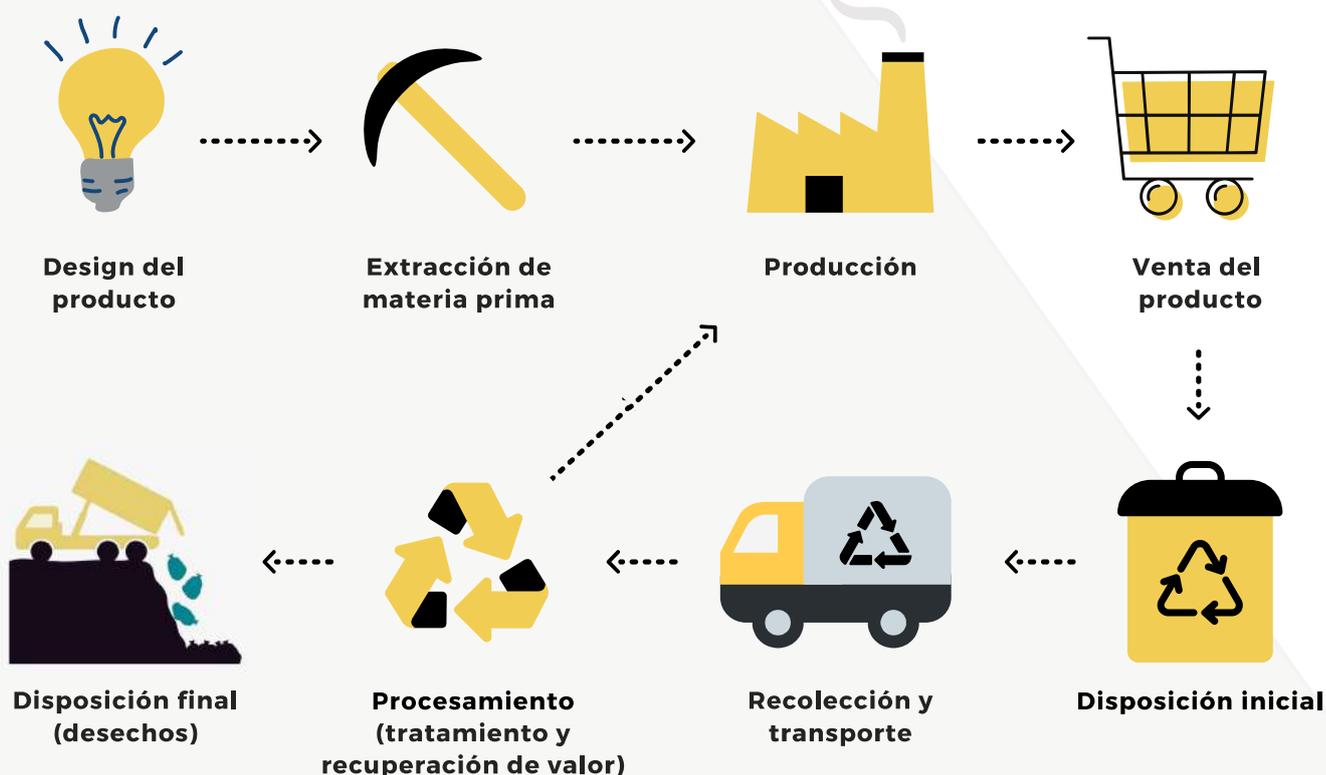


Equipos cuyo funcionamiento depende de corrientes eléctricas con una tensión nominal de un máximo de 240 voltios.

## 8 Categorías de RAEE:

- |   |                                       |
|---|---------------------------------------|
| <b>1</b> <b>Grandes Electrodomésticos</b><br>Refrigerador, utensilios de cocina | <b>5</b> <b>Hilos &amp; Cables</b>    |
| <b>2</b> <b>Pequeños Electrodomésticos</b><br>Licuadora, ventilador             | <b>6</b> <b>Pilas &amp; Baterías</b>  |
| <b>3</b> <b>Monitores</b><br>LCD, plasma, CRT                                   | <b>7</b> <b>Iluminación</b>           |
| <b>4</b> <b>IT &amp; Telecomunicaciones</b><br>Móvil, computadora, ratón        | <b>8</b> <b>Paneles Fotovoltaicos</b> |

## Ciclo de vida de los RAEE



# Cadena de recuperación de valor de los RAEE



## FIN DE LA VIDA

El producto queda obsoleto o sufre algún daño y el consumidor lo desecha.



## RECOGIDA

Se pueden eliminar los productos electrónicos pos consumo en los puntos de entrega voluntarios (PEV), en campañas o en los sistemas de recogida de residuos municipales.



## SEPARACIÓN

Se envían los RAEE para su clasificación dentro de las organizaciones que operan en logística inversa, donde se los separan por tipos con el fin de proceder a las líneas de tratamiento y recuperación de valor.

# TRATAMIENTO / RECUPERACIÓN DE VALOR

Existen técnicas diferentes de la minería que realizan el tratamiento e la recuperación del valor de los RAEE. De las cuales, tres grandes grupos se destacan: (1) Pirometalurgia; (2) Hidrometalurgia; (3) Biohidrometalurgia.

## PIROMETALURGIA

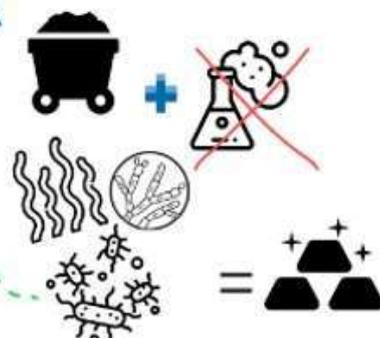


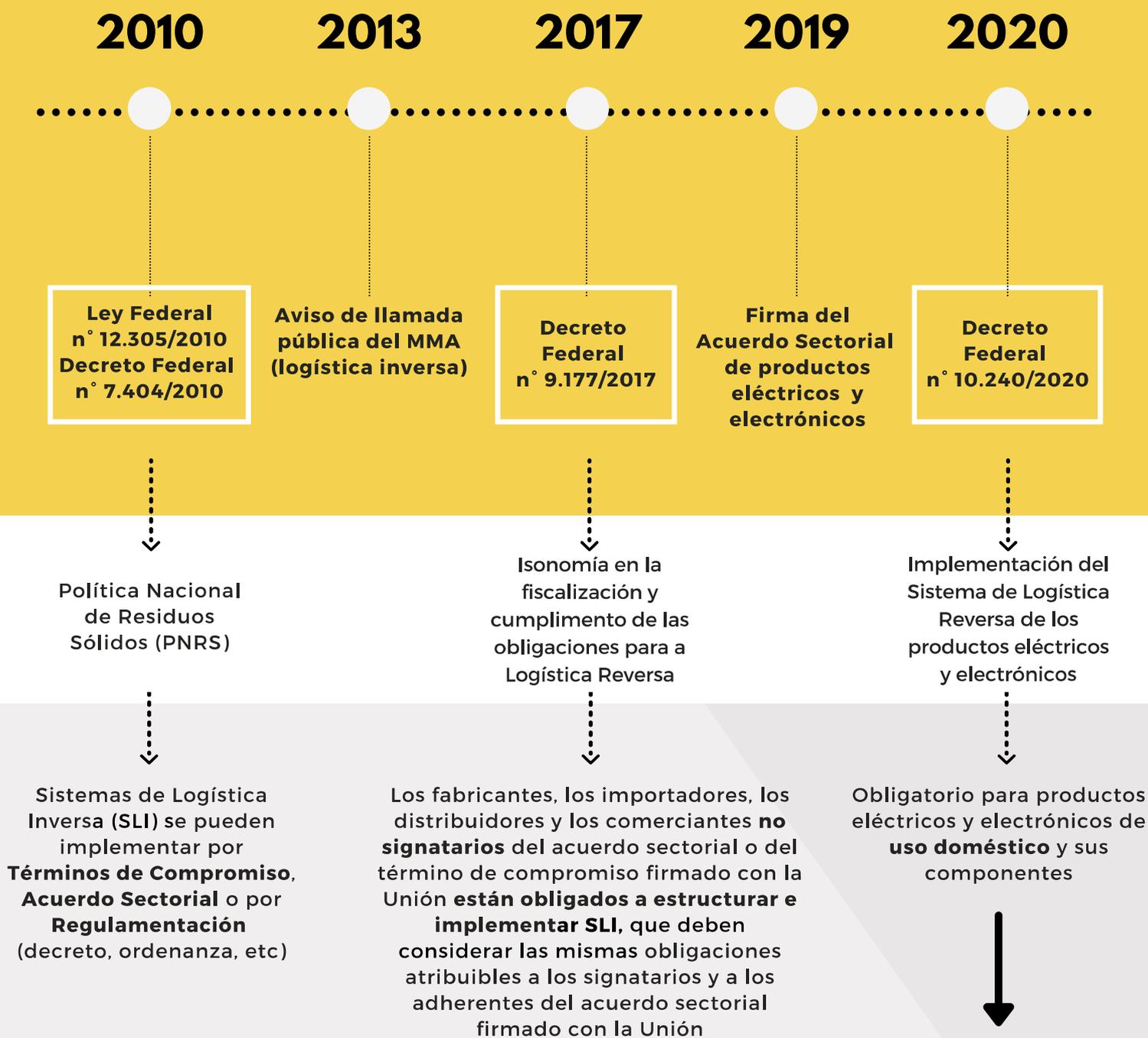
## HIDROMETALURGIA



## BIOHIDROMETALURGIA

processo similar ao da hidrometalurgia, no entanto, utiliza *microorganismos* para converter os metais em meio aquoso, reduzindo a necessidade de solvente





Porcentual que debe ser recolectado y destinado cada año por SLI

AÑO 1 <i>2021</i>	AÑO 2 <i>2022</i>	AÑO 3 <i>2023</i>	AÑO 4 <i>2024</i>	AÑO 5 <i>2025</i>
1%	3%	6%	12%	17%

# INSTRUCCIONES NORMATIVAS DE IBAMA

Dos instrucciones normativas (IN) del Instituto Brasileño de Medioambiente y Recursos Naturales Renovables (IBAMA) pueden aplicarse a la gestión de residuos electrónicos. EN n° 01/2013 sobre el reglamento del Registro Nacional de Operadores de Residuos Peligrosos (CNORP) y EN n° 08/2021 que regula el artículo 8 del Decreto n° 10.240/2020 al respecto de la emisión obligatoria de la Autorización Ambiental para el Transporte de Productos Peligrosos para el transporte interestatal de residuos de aparatos electrónicos. Este último utiliza los requisitos de la implementación del Sistema Nacional de Transporte de Productos Peligrosos (SNTPP) regulado por la Resolución n° 5.947/2021.

Así, el SNTPP establecido en 2013, en cumplimiento de la Ley Complementaria n° 140/2011, que atribuye al IBAMA el control ambiental del transporte interestatal marítimo y terrestre de productos peligrosos, reemplaza a EN n° 05/2012.

## IN 01/2013

Regula el Registro Nacional de Operadores de Residuos Peligrosos (CNORP), y define los procedimientos relacionados con el suministro de información sobre residuos sólidos, incluyendo aquellos considerados peligrosos. Se definen las 19 actividades generadoras, así como las categorías de transporte, almacenamiento y destino. Entre las actividades, se define la Categoría 5, que especifica la fabricación de pilas y baterías (código 5-1), fabricación de material eléctrico y electrónico y equipo de telecomunicaciones y tecnología de la información (código 5-2) y fabricación de aparatos eléctricos y electrodomésticos (código 5-3).

## IN 08/2021

Reglamenta el artículo 8 del Decreto n°. 10.240/2020 y establece que cuando el transporte involucre componentes clasificados como peligrosos o residuos peligrosos, la inscripción del transportador en el Registro Nacional de Operadores de Residuos Peligrosos (CNORP) es obligatoria. El generador u operador de residuos peligrosos debe inscribirse en el Registro Técnico Federal de Actividades Potencialmente Contaminantes y/o en los Usuarios de Recursos Ambientales CTF-APP.



## Líneas generales

El proyecto DATARE tiene como objetivo revelar al grupo de empresas que trabajan en el reciclaje de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) en Brasil, de aparatos electrónicos a nivel nacional.

A partir de la identificación de las empresas se siguió el análisis de sus particularidades, que consideró el segmento de actividad, la geolocalización, así como la capacidad de producción, la infraestructura y el cumplimiento de los requisitos legales. Las empresas localizadas se organizaron en SIS-DATARE, la base de datos desarrollada para el proyecto.

El estudio avanzó para identificar el volumen de equipos electrónicos puestos en el mercado (VPM) desde el año base 2018, utilizado en el Decreto Federal No. 10.240/2020 para la implementación del sistema de logística inversa para electrónica en el país.

### DURACIÓN:

Enero/2020-Octubre/2021

### BUDGET:

R\$ 139.600,00

### RESPONSABLE:

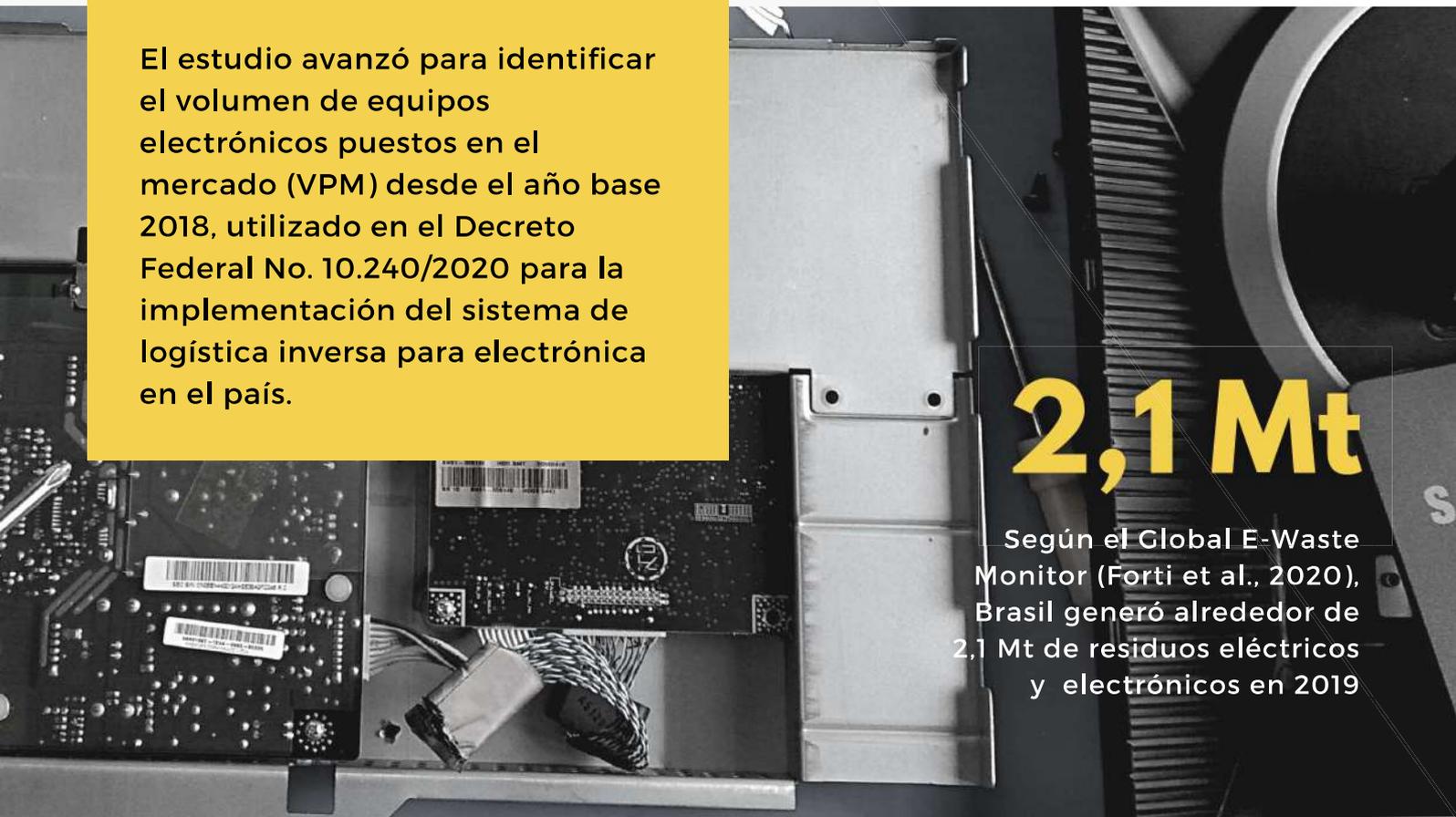
Centro de Tecnología Mineral  
CETEM/MCTI

### FOCO:

Minería urbana y logística inversa de residuos eléctricos y electrónicos en Brasil

### RESULTADOS PRINCIPALES:

Identificación, **geolocalización y análisis de las empresas** que realizan la gestión de residuos eléctricos y electrónicos en Brasil en cumplimiento de requisitos legales, desarrollo de la base de datos **SIS-DATARE**, así como el cálculo del **volumen puesto en el mercado** (VCM) en 2018. El proyecto resultó en más de 20 publicaciones científicas en forma de artículos, libros electrónicos y manuales.



# 2,1 Mt

Según el Global E-Waste Monitor (Forti et al., 2020), Brasil generó alrededor de 2,1 Mt de residuos eléctricos y electrónicos en 2019

## Artículos

Xavier, L.H., Ottoni, M., Lepawsky, J., 2021. Circular economy and e-waste management in the Americas: Brazilian and Canadian frameworks. *Journal of Cleaner Production* 297, 15 May 2021, 126570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126570>

Ottoni, M., Dias, P., Xavier, L.H., 2020. A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Cleaner Production* 261, 120990. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120990>

Xavier, L.H., Novais, M.P., Ottoni, M., Nascimento, H., 2021. Clustering Analysis of E-Waste Management in BRICS and G7 Countries. *EnvirolInfo 2021 Berlin, Germany*.

Apolonio, L., Xavier, L.H., Ottoni, M., Araujo, R.A., Giese, E.C., 2021. E-Waste collection in the reverse logistics systems and case study in Rio de Janeiro, RJ, Brazil. 2021 IEEE 2nd SUSTAINABLE CITIES LATIN AMERICA CONFERENCE (SCLA 2021), Medellin, Colombia.

Novais, M. P., Xavier, V.A., Xavier, L.H., Junseok, H., 2021. Modeling e-waste management data in smart cities, 2021 IEEE 2nd SUSTAINABLE CITIES LATIN AMERICA CONFERENCE (SCLA 2021), Medellin, Colombia.

Araujo, R., Cugula, J., Apolonio, L., Ottoni, M., Xavier, L.H., 2020. Spatial distribution analysis of e-waste voluntary delivery points (VDP) by Green eletron manager in São Paulo city (SP, Brazil), 5th Symposium on Urban Mining and Circular Economy, Venice, Italy.

Araujo, R.A., Ottoni, M., Xavier, L.H., 2020. Analysis of e-waste Voluntary Delivery Points (VDP) location in the city of Rio de Janeiro, Brazil. 5th Symposium on Urban Mining and Circular Economy, Venice, Italy.

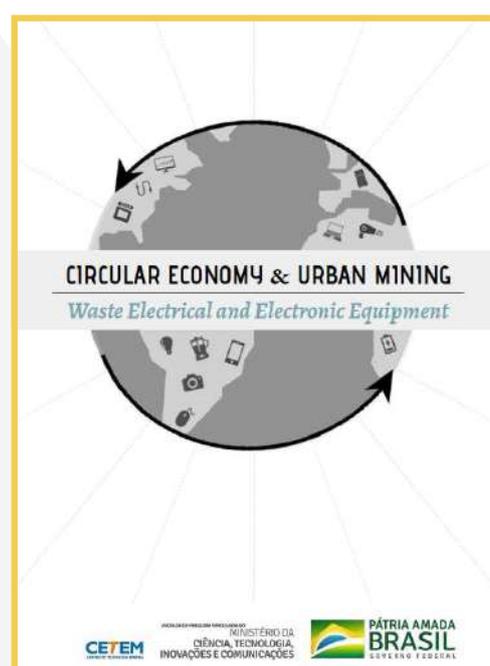
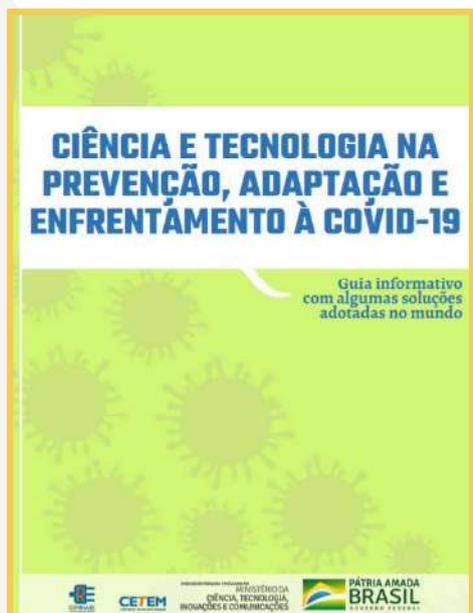
Cugula, J.S., Apolonio, L., Araujo, R., Ottoni, M., Xavier, L.H., 2020. E-waste hotspots and best routes analysis for reverse logistics in the city of São Paulo, Brazil. 5th Symposium on Urban Mining and Circular Economy, Venice, Italy.

Ottoni, M., Araujo, R., Xavier, L.H., 2020. Quantificação de pontos de entrega voluntária (PEVs) de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) na cidade do Rio de Janeiro. XI Forum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre, RS. <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/issue/view/11firs>

Araujo, R., Cugula, J., Apolonio, L., Gomes, C.F., Ottoni, M., Xavier, L.H., 2020. ALOCAÇÃO DE PONTOS DE ENTREGA VOLUNTÁRIA DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS NA CIDADE DE SÃO PAULO POR MEIO DE ANÁLISE MULTICRITÉRIO EM SIG. XI Forum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre, RS. <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/issue/view/11firs>

Araujo, R., Ottoni, M., Xavier, L.H., 2020. PANORAMA DAS COOPERATIVAS DE CATADORES ATUANTES NA CIDADE DO RIO DE JANEIRO NO SEGMENTO DE RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS. Forum Internacional de Resíduos Sólidos. Porto Alegre, RS. <https://institutoventuri.org/ojs/index.php/FIRS/issue/view/11firs>

## E-books y Manuales



Los e-books son de acceso gratuito y se pueden descargar directamente en el sitio web de CETEM:

<https://www.cetem.gov.br/antigo/livros?start=50>

## Videos

### Resíduos Eletrônicos no Brasil



### R3MINARE e a COVID-19



### 3º IEWD - Parte 1



### 3º IEWD - Parte 2



### 3º IEWD - Parte 3



### Retos y Oportunidades de las Universidades y Centros de Investigación



Para obtener más informaciones y otros materiales gratuitos, visite nuestro sitio web:

<https://www.cetem.gov.br/antigo/reminare>



**1** **Identificar las empresas**  
Las empresas que operan en la cadena RAEE se identificaron a partir de una extensa investigación en los sitios de búsqueda y la indicación de las partes interesadas.

**2** **Verificar calificación**  
La calificación de las empresas identificadas se verificó con base en el análisis de documentos públicos oficiales que acrediten su capacidad y licencia para operar en la área (CNPJ, CNAE, licencias ambientales, informe de inspección de los bomberos, etc.)

**3** **Identificar los flujos**  
La identificación de los flujos de materiales, procesos productivos y prácticas de gestión de estas organizaciones se realizó mediante el envío de un formulario online a las empresas identificadas.

**4** **Localizar las empresas**  
Se localizaron las empresas identificadas en el software ArcGIS para el análisis espacial.

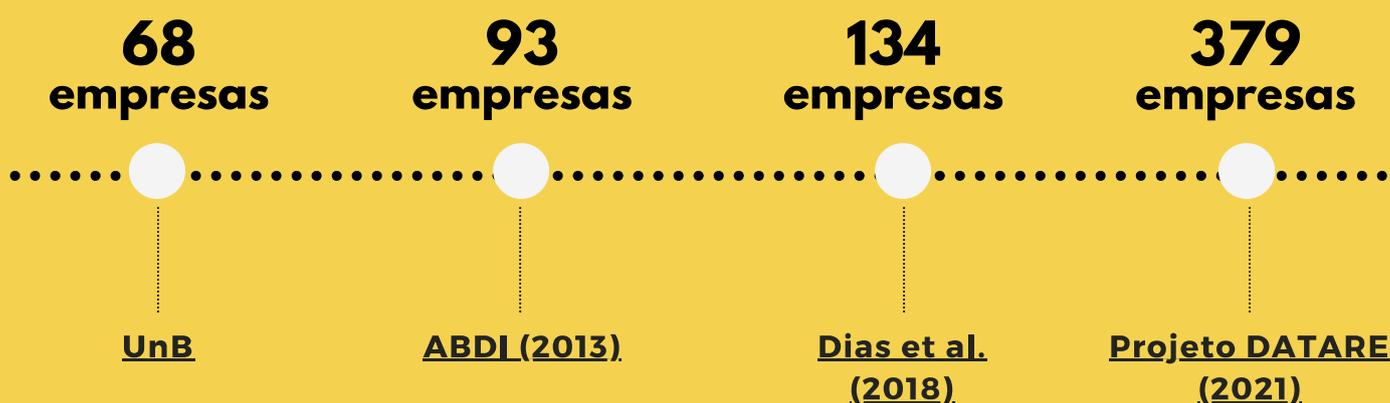
**5** **Banco de datos: SIS-DATARE**  
SIS-DATARE fue desarrollado como una base de datos para almacenar información recopilada sobre las empresas.

**6** **Análisis de PEVs**  
El análisis espacial en el Proyecto DATARE se extendió a la distribución actual e ideal de los Puntos de Entrega Voluntaria (PEV) de RAEE

**7** **VCM**  
El Volumen Puesto en el Mercado (VCM) en 2018 se calculó con base en los valores de exportación, importación y producción de productos eléctricos y electrónicos en Brasil.

# EMPRESAS IDENTIFICADAS

## Empresas que operan en la cadena RAEE en Brasil



## Levantamiento DATARE

### TIPOS DE ORGANIZACIONES:

379 Empresas

43 Cooperativas e asociaciones

5 ONGs y 12 CRCs

### DATOS GENERALES DE LAS

#### EMPRESAS:

230 central - 61%

149 sucursal - 39%

66 solamente con CNAE 1° - 17%

**Capital social medio:** R\$ 500 mil

**CNAEs primarios:** 91

**CNAEs secundarios:** 90

Del total de CNAE identificadas en la encuesta del proyecto DATARE, el 24% se clasificó como CNAE únicas, es decir, 91 CNAE primarias para las 379 empresas.

También se identificaron CNAE individuales, aquellas que están adscritas a una sola empresa, tales como:

- Comercio minorista de artículos de joyería (4783101)
- Actividades de las agencias de transporte marítimo (5232000)
- Fabricación de periféricos para equipos informáticos (2622100)

# 379

Empresas identificadas y analizadas según los criterios seleccionados por el Proyecto DATARE

De un conjunto de más de 560 empresas identificadas, se excluyeron aquellas cuyo CNPJ es inactivo, aquellas que no contaban con un **Código Nacional de Actividad Económica (CNAE)** equivalente al segmento pretendido por la investigación, así como cooperativas, CRCs y ONGs. La identificación de un total de 379 empresas no consiste en un levantamiento de datos exhaustivo del **parque ecoindustrial nacional** y, así mismo, no califica las empresas como técnicamente capaces de operar en el segmento.

Aún así, esta investigación sugiere puntos para la calificación técnica según lo establecido en el artículo 13 del Decreto N° 10.240/2020, tales como:

- (i) licenciamiento ambiental,
- (ii) calificación por empresas o entidades gestoras, y
- (iii) cumplimiento de las normas ABNT NBR 16.156: 2013 y ABNT NBR 15.833:2018. Recordando que los criterios operativos están establecidos en el Manual Operativo Básico.



Los códigos CNAE varían significativamente para algunas empresas de una misma área de actividad y ni siempre reflejan el desempeño de la empresa en la gestión de residuos electrónicos.

Este aspecto denota la posibilidad de reevaluar la disponibilidad de códigos que reflejen las áreas de actividad y, también, permitan especificar las diferentes soluciones para la gestión de RAEE en el país, lo que ayuda incluso al desarrollo de instrumentos reguladores y políticas de incentivo a partir del diagnóstico del desempeño de las empresas de reciclaje.

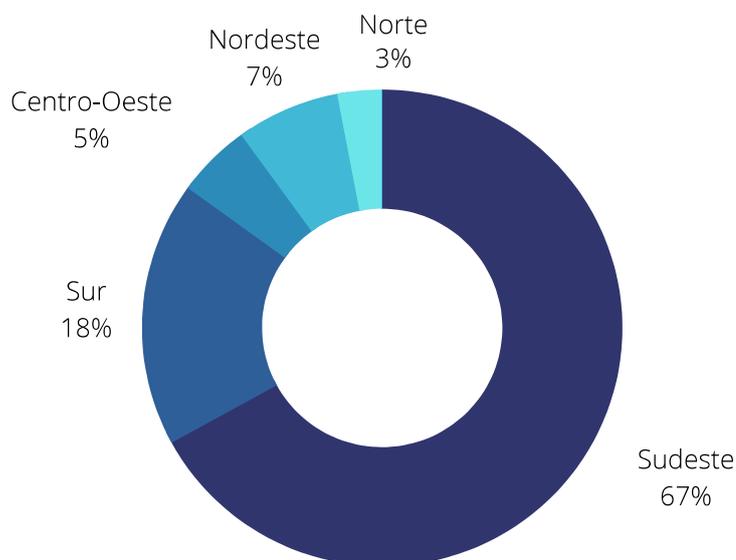
## Algunos de los códigos CNAE observados con mayor incidencia entre las empresas analizadas:

- 811400 - Recogida de residuos no peligrosos
- 4930202 - Transporte de mercancías por carretera, excepto productos y cambios peligrosos, interurbano, interestatal e internacional
- 5211799 - Almacenes de mercancías para terceros, excepto almacenes generales y guardamuebles
- 3821100 - Tratamiento y disposición final de residuos no peligrosos
- 3822000 - Tratamiento y disposición final de residuos peligrosos
- 3831901 - Recuperación de chatarra de aluminio
- 3831999 - Recuperación de materiales metálicos, excepto aluminio
- 3832700 - Recuperación de materiales plásticos
- 3839499 - Recuperación de materiales no especificados previamente

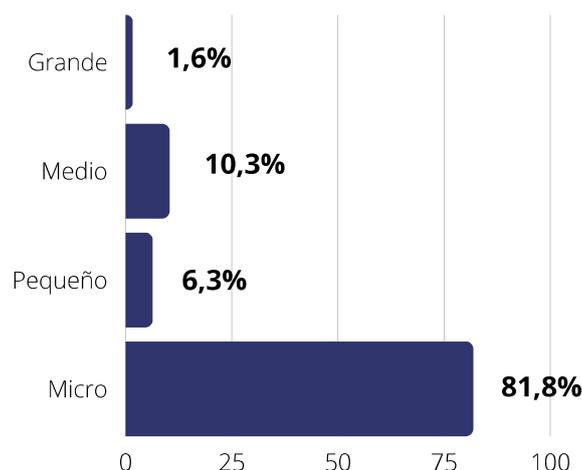
# PARQUE ECOINDUSTRIAL

En el Proyecto DATARE se encuestó una muestra de empresas que integran el parque ecoindustrial de recuperación de valor de RAEE en Brasil. La distribución geoespacial de las empresas de reciclaje en el territorio nacional muestra su concentración en la **región Sudeste (67%)**, que coincide con el mayor potencial de generación de residuos eléctricos y electrónicos.

## LOCALIZACIÓN DE LAS EMPRESAS



## TAMAÑO DE LAS EMPRESAS



## TAMAÑO DE LAS EMPRESAS IDENTIFICADAS SEGÚN LAS CATEGORÍAS DE BNDES

**MICRO** - Hasta 360 mil reales

**PEQUEÑO** - Hasta 4.8 millones de reales

**MEDIO** - Más de 4.8 millones de reales

Lorene, GRI Koleta, Essencis, Cobremax, Indústria Fox, Umicore, Re-Teck, Metalúrgica Barra do Pirai, Harsco, Silcon, Geodis

**GRANDE** - Más de 300 millones de reales

Stericycle y Flextronics

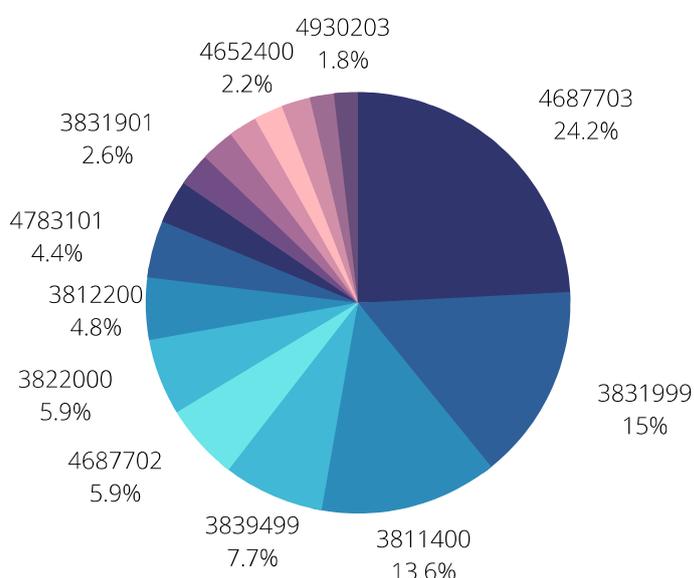
\* Las grandes empresas son empresas de producción que también se dedican a la reparación, remanufactura o procesamiento de material secundario.

# PARQUE ECOINDUSTRIAL

Los códigos CNAE asignados a las empresas que operan en la gestión de residuos electrónicos en el país pueden ser un indicador importante del alcance de acción y de la prioridad de las actividades en este segmento. Se verificó la atribución de 1.279 códigos CNAE a las 379 empresas identificadas como actuantes en la gestión de RAEE, lo que representa una media de 3,4 códigos por empresa. De estos códigos, 207 representan códigos únicos distribuidos entre CNAE primaria y secundaria. A continuación se presenta la frecuencia de los códigos más frecuentes para las empresas analizadas. Se verifica que el comercio mayorista de desechos y chatarras metálicas prevalece sobre los demás y que la mayoría de ellos cuentan con un código específico, lo que muestra la diversidad de CNAE primarios.

## ANÁLISIS DE LOS 15 CÓDIGOS CNAE PRIMARIOS CON MAYOR FRECUENCIA

CNAE	Freq.	Descrição
4687703	66	Comércio atacadista de resíduos e sucatas metálicos
3831999	41	Recuperação de materiais metálicos, exceto alumínio
3811400	37	Coleta de resíduos não perigosos
3839499	21	Recuperação de materiais não especificados anteriormente
4687702	16	Comércio atacadista de resíduos e sucatas não metálicos, exceto de papel e papelão
3822000	16	Recuperação de sucatas de alumínio
3812200	13	Coleta de resíduos perigosos
4783101	12	Comércio varejista de artigos de joalheria
3832700	9	Recuperação de materiais plásticos
3831901	7	Recuperação de sucatas de alumínio
4930202	7	Transporte rodoviário de cargas, exceto de produtos perigosos, intermunicipal, interestadual e internacional
4687701	6	Comércio atacadista de resíduos de papel e papelão
4652400	6	Comércio atacadista de componentes eletrônicos e equipamentos de telefonia e comunicação
4751201	6	Comércio varejista de equipamentos e materiais de informática
3821100	5	Tratamento e disposição de resíduos não perigosos
4930203	5	Transporte rodoviário de produtos perigosos

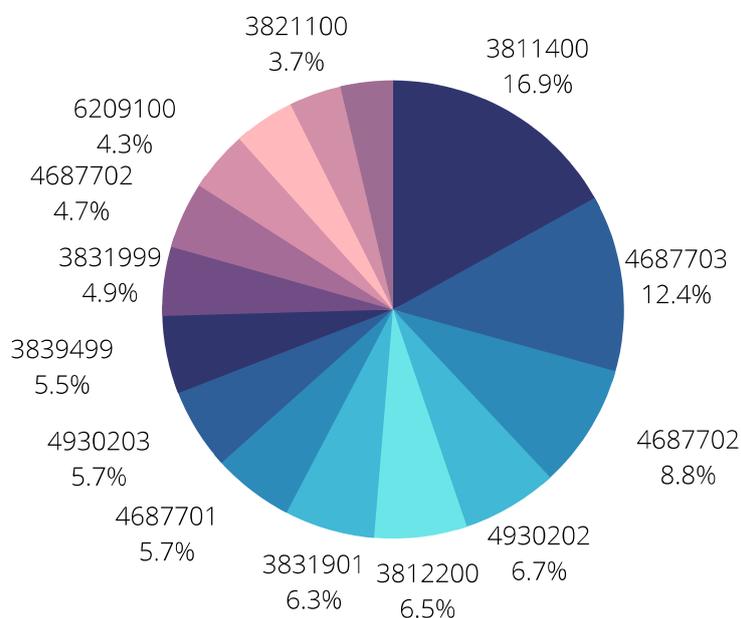


# PARQUE ECOINDUSTRIAL

Los códigos CNAE para todos los códigos primarios y secundarios de las empresas analizadas confirman la ocurrencia de los códigos relativos a la recolección de residuos peligrosos y no peligrosos, el comercio mayorista de residuos y chatarras metálicas y no metálicas, pero lo eleva a la tercera posición, con 33 ocurrencias, transporte de carga por carretera, excepto productos peligrosos.

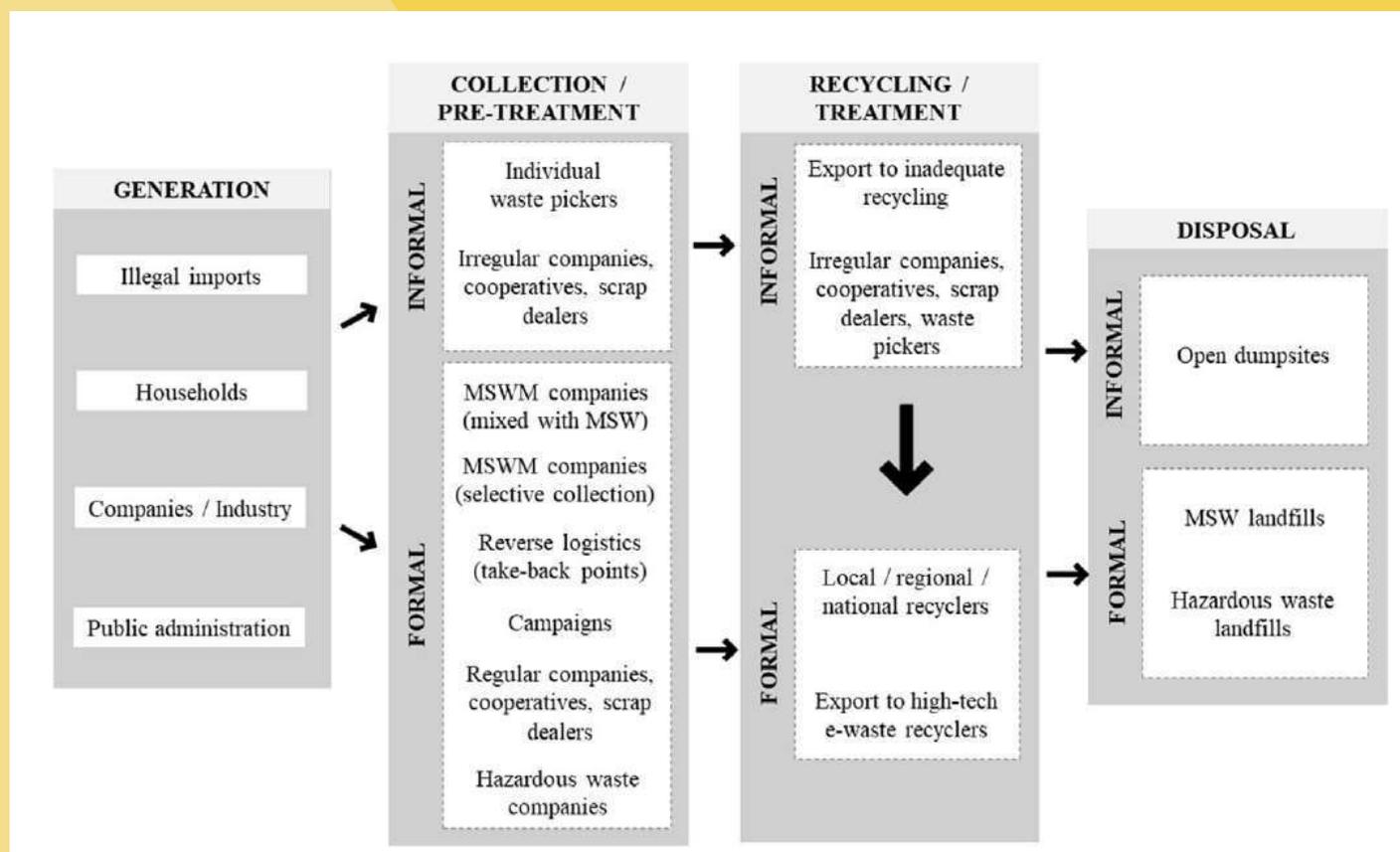
## ANÁLISIS DE LOS 15 CÓDIGOS CNAE CON MAYOR FRECUENCIA PARA EL CONJUNTO DE CNAES PRIMARIOS E SECUNDARIOS

CNAE	Freq.	Descrição
3811400	83	Coleta de resíduos não perigosos
4687703	61	Comércio atacadista de resíduos e sucatas metálicos
4687702	43	Comércio atacadista de resíduos e sucatas não-metálicos, exceto de papel e papelão
4930202	33	Transporte rodoviário de carga, exceto produtos perigosos e mudanças, intermunicipal, interestadual e internacional
3812200	32	Coleta de resíduos perigosos
3831901	31	Recuperação de sucatas de alumínio
4687701	28	Comércio atacadista de resíduos de papel e papelão
4930203	28	Transporte rodoviário de produtos perigosos
3839499	27	Recuperação de materiais não especificados anteriormente
3831999	24	Recuperação de materiais metálicos, exceto alumínio
4687702	23	Comércio atacadista de resíduos e sucatas não metálicos, exceto de papel e papelão
6209100	21	Suporte técnico, manutenção e outros serviços em tecnologia da informação
4930201	21	Transporte rodoviário de carga, exceto produtos perigosos e mudanças, municipal
3821100	18	Tratamento e disposição de resíduos não perigosos
7020400	18	Atividades de consultoria em gestão empresarial, exceto consultoria técnica específica



# FLUJO DE RAEE

Otoni y Xavier (2019) muestran que una gran parte de los brasileños (aproximadamente el 85%) mantienen sus dispositivos electrónicos post-consumo en casa en lugar de tirarlos en los puntos de recolección de desechos eléctricos y electrónicos existentes. Este es un desafío importante a considerar con respecto al enfoque de logística inversa. El rendimiento de la recolección y los volúmenes recolectados son cruciales para la eficiencia de todo el sistema.

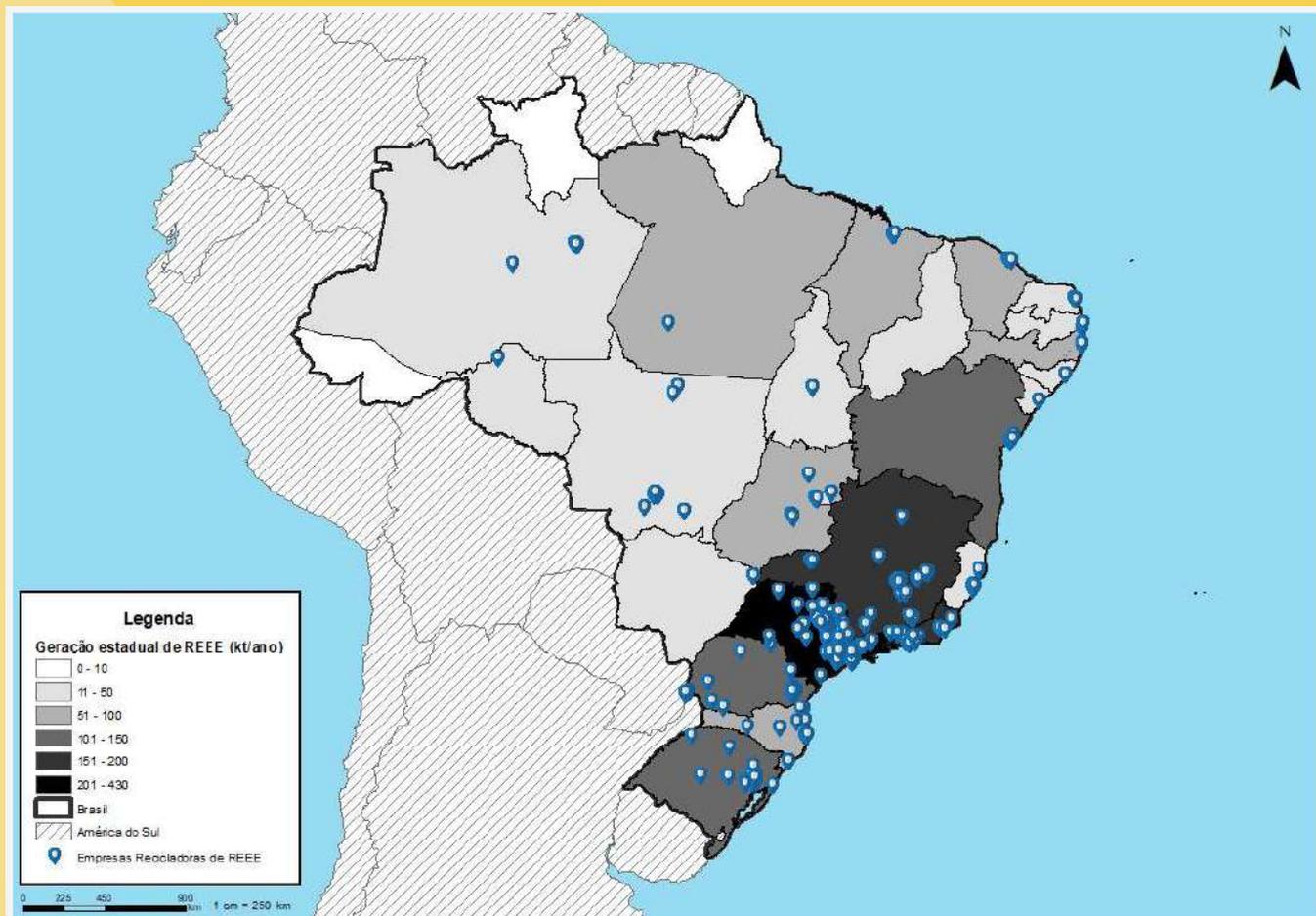


Marco de los flujos generales de desechos eléctricos y electrónicos formales e informales en Brasil (Xavier et al., 2021)

Como se presenta en el diagrama, ambos, los flujos formales y los informales trabajan en actividades coordinadas desde el descarte de los desechos eléctricos y electrónicos por parte de los poseedores (consumidores), fluyendo por las etapas de recolección/pre-tratamiento, los procesos de reciclaje/tratamiento y llegando a la disposiciones finales alternativas.

Según la recuperación de valor en este marco, se realizan ciclos cortos (reutilización) o ciclos largos (reciclaje) según los principios de la economía circular. La importancia de los actores informales se destaca por las operaciones manuales que garantizan volúmenes y valiosa clasificación de materiales.

## GEOLOCALIZACIÓN DE LAS EMPRESAS



Por un lado, los estados de São Paulo, Minas Gerais y Rio de Janeiro evidencian la mayor tasa de generación de RAEE debido a la densidad poblacional.

Por otro lado, Bahia presentó una generación significativa, pero no tiene un cuantitativo expresivo de recicladores para atender a la demanda observada. Se verificó un patrón en la concentración de los recicladores en las capitales y en la franja costera de la región Nordeste del país.

Se puede observar otro panorama para los estados de Mato Grosso y Goiás. Ellos presentan una distribución más uniforme de los recicladores identificados y una menor generación de residuos eléctricos y electrónicos.

# PUNTOS DE ENTREGA VOLUNTARIA (PEVS)

Según el artículo 48 del Decreto n° 10.240/2020, se establece la ubicación de al menos un **Punto de Entrega Voluntaria (PEV)** a cada 25 mil habitantes en cumplimiento a los requisitos para la implementación del Sistema de Logística Inversa (SLR) de RAEE. Así, el propio decreto presenta en su Anexo III las ciudades de São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília, Salvador, Fortaleza, Belo Horizonte y Manaus, las más pobladas del país, superando los 2 millones de habitantes cada una.

Según el decreto, el estado de São Paulo debe tener, para fines de 2021, al menos 8 ciudades atendidas por la SLR, mientras los estados de Rio de Janeiro y Minas Gerais deben tener, cada uno, 3 ciudades atendidas. Los estados de Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Pernambuco, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina y el Distrito Federal deben tener al menos una ciudad atendida en cada uno de ellos.

Como exige la ley, las ciudades de São Paulo, Rio de Janeiro y Brasília deben tener un número de PEV equivalente a 480, 267 y 119 unidades, respectivamente.

## Estudio de caso: ciudad de São Paulo

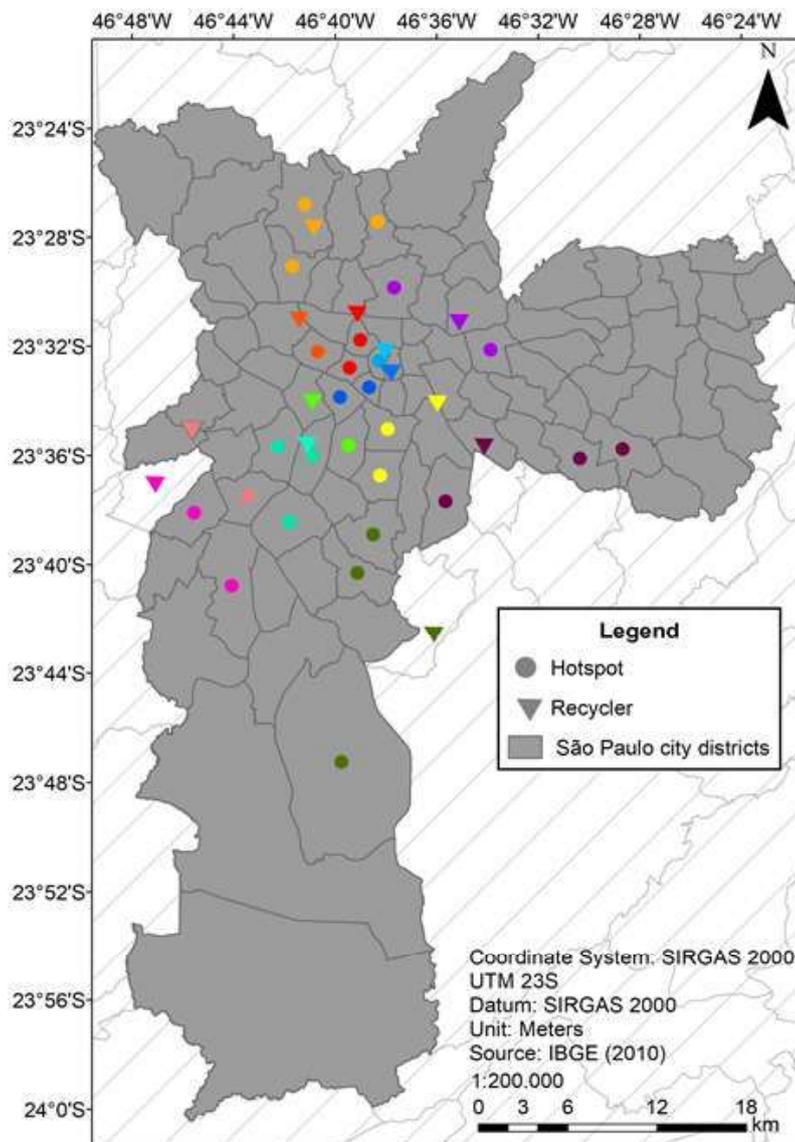
Como se ve en el mapa (imagen a derecha), el estudio para la asignación de PEVs en la ciudad de São Paulo mediante análisis multicriterio en SIG destaca las áreas con mayor potencial para la instalación y recolección de RAEE (Araujo et al., 2020).

Para definir las mejores ubicaciones, se utilizaron 13 atributos y 40 sub-atributos en el análisis, considerando, por ejemplo, potencial de generación, existencia de red de transporte y densidad de población. El método se puede replicar a otros estados, mostrando el potencial de las ciudades para cumplir los requisitos legales.



# RUTAS DE LOGÍSTICA INVERSA

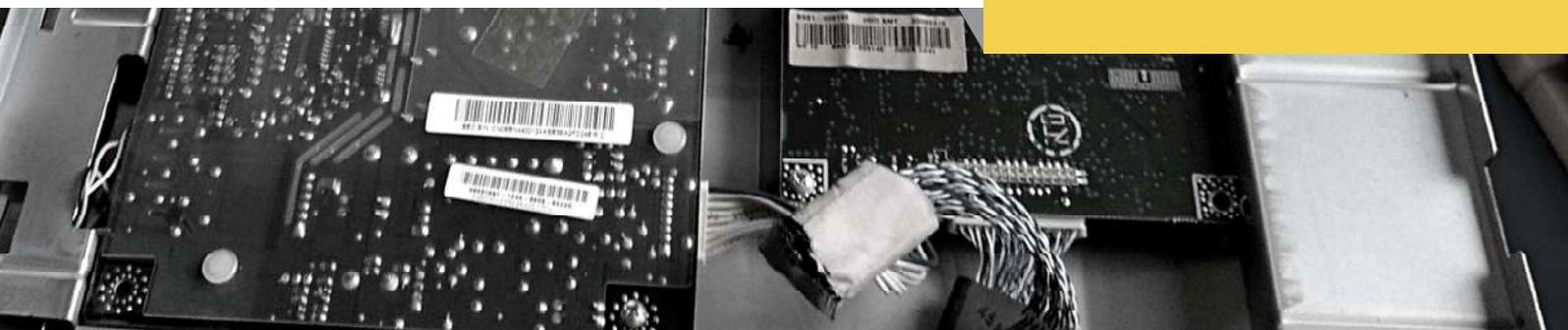
En otro enfoque, fue posible analizar las rutas de logística inversa de RAEE debido a la ubicación de los recicladores y los puntos de mayor concentración de generación de RAEE, denominados **hotspots**. En total, el estudio identificó 26 puntos críticos de RAEE en la ciudad de São Paulo, la mayoría en la parte central y rica de la ciudad, junto con la distribución de recicladores (Cugula et al., 2020).



Identificación de los hotspots y recicladores de RAEE en la ciudad de São Paulo. Fuente: Cugula et al. (2020)

## Estudio de caso: Ciudad de São Paulo

Este estudio permitió identificar la adherencia entre los puntos de generación y la posibilidad de ubicación de los PEVs con la intención de dirigir la categoría de RAEE a los respectivos puntos de procesamiento. Los estudios futuros aún pueden considerar el potencial de procesamiento y la tipología de los materiales a recuperar.



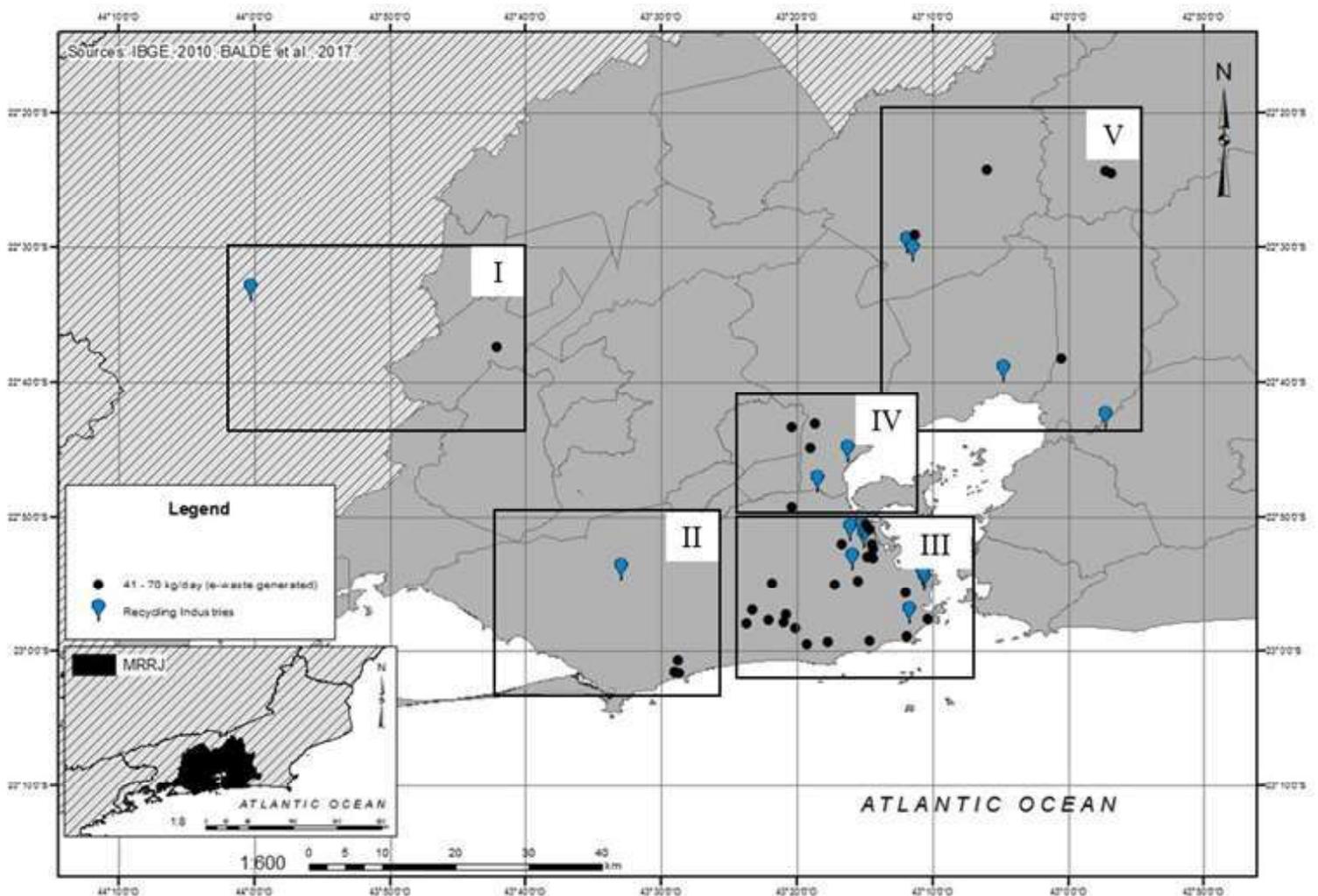
# CLUSTERING

## Estudio de caso: Región Metropolitana de Rio de Janeiro

El análisis de la ubicación de las empresas que trabajan en la gestión de residuos eléctricos y electrónicos permitió identificar posibles clusters debido a la concentración de unidades de procesamiento y la generación de RAEE en la área analizada.

En la figura abajo, se presentan cinco posibles clusters para la Región Metropolitana de Rio de Janeiro, RMRJ (Ottoni et al., 2020). Como se muestra, las regiones I y II tendrían menos adherencia entre las áreas con mayor potencial de generación y la ubicación de las unidades de procesamiento. Mientras las regiones III y IV tendrían una mejor distribución de unidades de procesamiento. La Región V, a su vez, tiene una mayor distancia de las unidades de procesamiento, lo que requiere mayor desplazamiento y necesidad de instalaciones de más PEVs para consolidar volúmenes y optimizar rutas y procesamiento del material recolectado.

Así, el estudio destaca la necesidad de estrategias diferenciadas de acuerdo con la distribución de las unidades de reciclaje en el espacio.



# SIS-DATARE



<https://sisdatare.cetem.gov.br/>

El Sistema **Sis-DATARE** es uno de los resultados del proyecto de investigación DATARE desarrollado a lo largo de 2020 y 2021 por el Centro de Tecnología Mineral (CETEM).

Muchos empresarios muestran interés en operar en la fabricación inversa, en el reciclaje, producción y venta de materia prima secundaria recuperada de la chatarra de aparatos electrónicos. Sin embargo, se dispone de poca información sobre el tema.

Así, Sis-DATARE nació de la demanda de una base de datos consistente para identificar y evaluar a los agentes involucrados en la gestión de residuos de equipos eléctricos y electrónicos en Brasil.

El **sistema Sis-DATARE** permite la búsqueda de las empresas registradas y la verificación del estado de la empresa con respecto a los datos proporcionados al proyecto DATARE.

### Organizações

Pesquise pelo nome

#	Organização	Status
267	Vertas - Comercio de Residuos Tecnologicos LTDA	<span style="color: green;">■</span>

**Legenda:**

- Respondeu questionário e apresentou documentos
- Retorno com pendência
- Sem retorno

La base de datos Sis-DATARE contiene el registro de las empresas involucradas en la logística inversa de RAEE en Brasil en términos de sus informaciones generales, de infraestructura, gestión y proveedores.

## CADASTRAR EMPRESA 2.0

1º IDENTIFICAÇÃO    2º INFRAESTRUTURA    3º GESTÃO    4º FORNECEDOR

1.1 Razão Social \*

1.2 Nome Fantasia

1.3 CNPJ \*

1.4 Classificação \*

1.5 CNAE Primário \*

1.7 CEP \*

1.8 Logradouro \*

1.9 Número \*

1.10 Bairro \*

1.11 Estado \*

1.12 Cidade \*

# VOLUMEN PUESTO EN EL MERCADO - VPM

En la Fase 1 de la implementación del Sistema de Logística Inversa (SLR), entre febrero y diciembre de 2020, se incluyó, entre otras medidas, la creación del Performance Monitoring Group (GAP), compuesto por entidades representativas a nivel nacional de los fabricantes, importadores, distribuidores y minoristas de productos eléctricos y electrónicos para monitorear y dar a conocer la implementación de la SLR y detallar las funciones y actividades del grupo en un regimiento interno.

La gestión de aparatos eléctricos y electrónicos post-consumo es significativamente compleja debido a la diversidad de productos y al desconocimiento de los consumidores sobre los canales de destinación. Los objetivos establecidos en el Decreto n° 10.240/2020 para la recogida y destinación de RAEE se basan en el volumen total de productos electrónicos puestos en el mercado (**VPM, volumen puesto en el mercado, o PoM, del inglés, placed on market**) en Brasil.

## VPM y el Decreto 10.240

El cálculo del VPM se debe realizar para los productos de uso doméstico y debe tener como referencia el peso en el año base de 2018. Se establecieron objetivos de volumen por peso para la recolección y disposición de RAEE, con porcentajes escalonados. Se inició la Fase 2 de la implementación de SLR con 1% (en 2021) de recolección y disposición, pasando al 3% (en 2022), 6% (en 2023), 12% (en 2024), hasta 17% (en 2025).

El Decreto n° 10.240/2020 establece una lista de 215 productos destinados a la logística inversa en Brasil. Sin embargo, luego de analizar la lista y comparar los elementos con los códigos asignados para importación y exportación (base de datos Siscomex de la Receita Federal) y para producción (base de datos de IBGE), se realizó un cribado con la eliminación de 3 elementos repetidos. Se encontraron pesos para 96 elementos de la lista, de los cuales 17 tenían una correlación directa con el código IBGE y los otros 79 elementos se agruparon en 26 códigos IBGE.



# 215

Productos eléctricos y electrónicos como objetivo de la logística inversa en Brasil

## Cálculo del VPM

Se utilizaron como referencia para el cálculo del VPM metodologías consolidadas aplicadas por países europeos y difundidas por la Universidad de Naciones Unidas. Los métodos se basan en los volúmenes de producción, importación y exportación.

### Cálculo del VPM en la literatura

- Norden (2009): Method to measure the amount of WEEE generated
- Magalini et al. (2014): Study on collection rates of WEEE (European Commission)
- Baldé et al. (2017): Global E-Waste Monitor
- Forti et al. (2018): Statistics for E-Waste
- Forti et al. (2020): Global E-Waste Monitor
- Universidad de Naciones Unidas (UNU)

En el proyecto DATARE, el VPM (medido en toneladas, t) se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{VPM (t)} = \text{Producción (t)} + \text{Importación (t)} - \text{Exportación (t)}$$

**LISTA DE PRODUCTOS**  
Decreto n° 10.240/2020  
215 elementos



#### **PRODUCCIÓN**

Lista para el año-base 2018  
Fuente: Base IBGE

#### **EXPORTACIÓN**

Lista para el año-base 2018  
Fuente: Base Receita Federal

#### **IMPORTACIÓN**

Lista para el año-base 2018  
Fuente: Base Receita Federal

## Cálculo del Volumen Puesto en el Mercado (VPM): paso a paso



### AÑO-BASE 2018

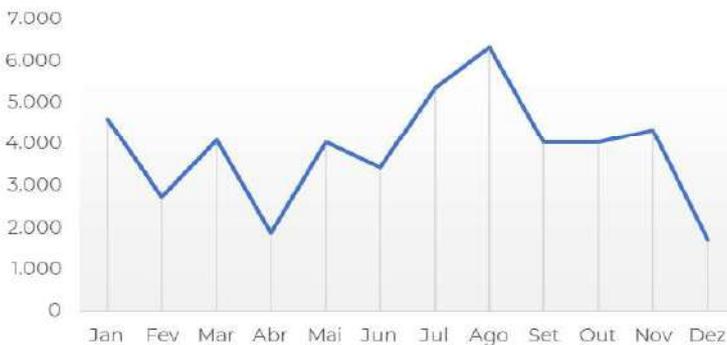
<b>Total importado:</b>	475.661 toneladas
<b>Total exportado:</b>	12.280 toneladas
<b>Producción total:</b>	1.325.379 toneladas

**VPM = 1.788.760 toneladas**

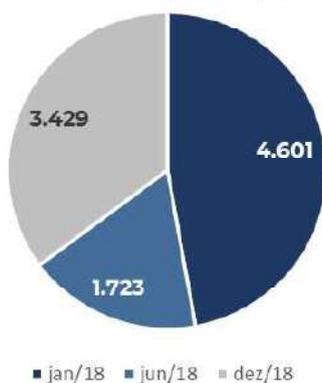
puestas en el mercado en el año base de 2018

# VOLUMÉN DE AEE IMPORTADOS EN 2018

Volumen de placas importadas por Brasil en 2018 (t)



Importação de placas de circuito impresso em peso (t/mês)



A partir del análisis de los datos adquiridos por la base Siscori, es posible identificar los volúmenes de exportación e importación para categorías específicas de RAEE en Brasil. Las hojas de cálculo tienen datos extendidos referentes, por ejemplo, al origen, volúmenes, valores de importación e incluso al costo de envío. Estos datos permiten la comparación con el movimiento internacional. En 2018 se importaron 46.622 toneladas de placas de circuito impreso. Solo para el mes de enero, un valor de importación de US\$ 37 millones y un valor de flete de US\$ 1,8 millones. Los tableros se importaron de 20 países, y China representa más del 95% de las importaciones. Dado que la importación de equipos electrónicos en Brasil supera significativamente el volumen exportado, solo los volúmenes importados son un indicador importante para estimar los RAEE generados.

# CONCLUSIÓN

La gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) representa un desafío global debido a los riesgos potenciales y al valor de mercado de los productos y materiales recuperables. En Brasil, la gestión de RAEE está regulada y las metas para la implementación del sistema de logística inversa que comenzó en 2021 y se completará en 2025.

La definición de las categorías del volumen de RAEE puestos en el mercado (VPM) es un requisito fundamental para verificar los objetivos de recogida y destinación en el país. Así, el presente estudio buscó presentar formas de categorización de equipos eléctricos y electrónicos a través del análisis de códigos de identificación (IBGE y NCM), así como identificar el VPM para equipos eléctricos y electrónicos como un subsidio para el cumplimiento de las metas establecidas para la implementación del SLR de RAEE en Brasil.

El análisis de los códigos CNAE para la categorización de empresas que integran el parque ecoindustrial para la gestión de RAEE es un tema que puede incidir en la configuración de modelos de negocio basados en los principios de economía circular y en la inspección del desempeño de los agentes, y, por lo tanto, debe priorizarse o reconfigurarse para permitir la armonización con los requisitos legales y reglamentarios.





## Retos

- Limitación de la disponibilidad de datos
- Las empresas de producción protegen los datos por motivos estratégicos
- Bases de datos inconsistentes
- Necesidad de armonización de datos



## Oportunidades

- Metodología validada internacionalmente
- Validación de resultados
- Identificación de los segmentos/lugares más viables (valor y tamaño)
- Identificación del potencial minero urbano de RAEE en Brasil



## Identificación del Parque Ecoindustrial

- Cuantificación y calificación de empresas
- Análisis del potencial de producción y cumplimiento de los objetivos de la legislación
- Identificación de la diversidad de actuación
- Contribución de la integración/fortalecimiento de las actividades



## Georreferenciación

- Localización de minas urbanas
- Identificación de clusters
- Análisis del potencial del parque ecoindustrial



## Volumen Puesto en el Mercado (VPM)

- Puntos por categorías coincidentes
- Claridad sobre los requisitos legales
- Identificación de los grupos de equipos de producción
- Análisis de dispersión en relación al valor (FOB) y volumen (peso)
- Potencial de la minería urbana en Brasil en valores económicos



## Economía Circular

- Contenido con propósito para la regulación de la industria
- Identificación del grado de circularidad en el segmento

# REFERENCIAS

Araujo, R.; Cugula, J.; Apolonio, L.; Gomes, C.; Ottoni, M.; Xavier, L. H, 2020. Alocação de pontos de entrega voluntária de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos na cidade de São Paulo por meio de análise multicritério em SIG. XI Fórum internacional de Resíduos Sólidos (FIRS-2020).

Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R., Stegmann, P., 2017. The Global E-waste Monitor – 2017, United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Vienna. Disponible en: <https://www.itu.int/en/ITU-D/Climate-Change/Documents/GEM%202017/Global-E-waste%20Monitor%202017%20.pdf>. Acceso en: julio de 2021.

Brasil, 2010a. Lei N° 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponible en: [www.planalto.gov.br/ccivil03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acceso en: julio de 2021.

Brasil, 2010b. Decreto N° 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm). Acceso en: julio de 2021.

Brasil, 2020. Decreto n° 10.240, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei n° 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto n° 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Disponible en: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm). Acceso en: julio de 2021.

Cugula, J., Apolonio, L., Araujo, R., Ottoni, M., Xavier, L.H., 2020. "E-waste hotspots and best routes analysis for reverse logistics in the city of São Paulo, Brazil", SUM2020 / 5TH Symposium on Urban Mining and Circular Economy. November, p. 1-5.

Dias, P., Bernardes, A.M., Huda, N., 2018. Waste electrical and electronic equipment (WEEE) management: An analysis on the australian e-waste recycling scheme. Journal of Cleaner Production. Vol, 197. Pp. 750-764. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.161>.

Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R., 2018. E-waste Statistics. Guidelines on classification, reporting and indicators. Disponible en: [http://collections.unu.edu/eserv/UNU:6477/RZ\\_EWaste\\_Guidelines\\_LoRes.pdf](http://collections.unu.edu/eserv/UNU:6477/RZ_EWaste_Guidelines_LoRes.pdf). Acceso en: agosto de 2021.

# REFERENCIAS

Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R., Bel, G., 2020. The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, Flows, and the Circular Economy Potential, United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) - co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.

Korhonen, J., Honkasalo, A., Seppälä, J., 2018. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecol. Econ.* 143, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

Magalini, F., Wang, F., Huisman, J., Kuehr, R., Baldé, K., Straalen, V., Hestin, M., Lecerf, L., Sayman, U., Akpulat, O., 2014. Study on Collection Rates of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE), possible measures to be initiated by the Commission as required by Article 7(4), 7(5), 7(6) and 7(7) of Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).

Disponible en:

<[https://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/Final\\_Report\\_Art7\\_publication.pdf](https://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/Final_Report_Art7_publication.pdf)>. Acceso en: julio de 2021.

Norden (2009): Method to measure the amount of WEEE generated. Report to Nordic council's subgroup on EEE waste. Disponible en: <https://www.norden.org/en/publication/method-measure-amount-weee-generated>. Acceso en: octubre de 2021.

Otoni M., Dias P., Xavier L.H., 2020. A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. *J Clean Prod* 261:120990. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120990>

Otoni, M.S.O., Xavier, L.H., 2019. Circularity in the management of waste electrical and electronic equipment (e-waste): contributions to urban mining in Brazil. XXVII Journey of Scientific Initiation and III Journey of Initiation in Technological Development and Innovation - center of Mineral Technology/CETEM. Available at: Marianna de Souza Oliveira Otoni.pdf (cetem.gov.br) Acceso en: noviembre de 2021.

Xavier, L.H., Otoni, M., Lepawsky, J., 2021. Circular economy and e-waste management in the Americas: Brazilian and Canadian frameworks. *Journal of Cleaner Production*, 297. 126570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126570>

