

# Gestão de Resíduos Sólidos 2

Leonardo Tullio  
(Organizador)



**Leonardo Tullio**  
(Organizador)

# **Gestão de Resíduos Sólidos**

## **2**

**Atena Editora**  
**2019**

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

#### Conselho Editorial

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília  
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa  
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista  
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

G393 Gestão de resíduos sólidos 2 [recurso eletrônico] / Organizador Leonardo Tullio. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Gestão de Resíduos Sólidos; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-188-6

DOI 10.22533/at.ed.886191403

1. Lixo – Eliminação – Aspectos econômicos. 2. Pesquisa científica – Reaproveitamento (Sobras, refugos, etc.).  
3. Sustentabilidade. I. Tullio, Leonardo. II. Série.

CDD 363.728

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

## APRESENTAÇÃO

Neste Volume II, são apresentados 18 artigos que analisaram o potencial de uso de diversos materiais em vários setores, propondo destino correto a esses resíduos.

A construção civil apresenta-se como elevado potencial na incorporação desses resíduos industriais, que podem ser utilizados como matéria-prima alternativa, uma vez que disponíveis em grandes quantidades e sem destinação pela indústria que o produz, sua utilização pode levar a vantagens econômicas, técnicas e ecológicas, ademais solução de muitos problemas da indústria.

Também se observa o potencial de utilização de resíduos da atividade agrícola no meio urbano, sendo assim o aproveitamento, além de minimizar os problemas ambientais, é visto como atividade complementar, que pode contribuir para a diversificação dos produtos e para a diminuição do custo final de produtos.

Todavia, a correta destinação de um resíduo deve ser estudada e tratada com cautela, pois o "desleixo" causa impactos ambientais incalculáveis na sociedade.

Bons estudos.

Leonardo Tullio

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
SUSTENTABILIDADE: USO DE ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL E EDUCAÇÃO AMBIENTAL	
<i>Cristine Machado Schwanke</i> <i>Juliana Young</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914031</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>13</b>
UTILIZAÇÃO DE CARVÃO DE CAROÇOS DE BUTIÁ ( <i>BUTIA CAPITATA</i> ) COMO MEIO DEPURIFICAÇÃO ALTERNATIVA DE ÁGUAS PARA CONSUMO HUMANO	
<i>Beatriz Stoll Moraes</i> <i>Ferdinando Bisogno de Castro</i> <i>Maick Bravo da Silva</i> <i>Paulo Roberto Diniz da Silva</i> <i>Daniela Lilge Silva</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914032</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>25</b>
USO DE RESÍDUOS DE CELULOSE NA MELHORIA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS	
<i>Genyr Kappler</i> <i>Carlos Alberto Mendes Moraes</i> <i>Regina Célia Espinosa Modolo</i> <i>Juliana Damasio Waschevicz</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914033</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>34</b>
REJEITOS RADIOATIVOS DO MAIOR ACIDENTE RADIOLÓGICO DO BRASIL	
<i>Lení Maria de Souza</i> <i>Francisco Itami Campos</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914034</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>46</b>
PRODUÇÃO DE CARBOXIMETILCELULASE E AVICELASE PELO BACILLUS SP SMIA-2 EM MEIO CONTENDO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	
<i>Andréia Boechat Delatorre</i> <i>Silvania Alves Ladeira</i> <i>Marcela Vicente Vieira Andrade Gonçalves</i> <i>Cristiane de Jesus Aguiar</i> <i>Thiago Freitas de Almeida</i> <i>Meire Leles Leal Martins</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914035</b>	
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>55</b>
O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL NO MERCADO DE EQUIPAMENTOS GAMER	
<i>Felipe Elsemann Barreto</i> <i>Ana Júlia Senna Sarmiento Barata</i> <i>Ricardo Ribeiro Alves</i> <i>Djulia Regina Ziemann</i>	
<b>DOI 10.22533/at.ed.8861914036</b>	

**CAPÍTULO 7 ..... 68**

ESTUDO PARA INSTALAÇÃO DE CENTROS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS DO RIO DE JANEIRO EM SEROPÉDICA

*Hélio Fernandes Machado Júnior*

*Rui de Góes Casqueira*

*Fabíola Oliveira da Cunha*

**DOI 10.22533/at.ed.8861914037**

**CAPÍTULO 8 ..... 78**

ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO DA SERICINA EMPÓ RESULTANTE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DESIDRATADA EM “SPRAY DRYER”

*Ana Paula Sone*

*Camilo Freddy Mendoza Morejon*

*Marcelino Luiz Gimenes*

**DOI 10.22533/at.ed.8861914038**

**CAPÍTULO 9 ..... 92**

ESTUDO DA CONFORMIDADE DE BLOCOS CERÂMICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE CHAMOTE E CASCA DE ARROZ

*Ivando Stein*

*Maurício Livinali*

*Éder Claro Pedrozo*

*Lucas Fernando Krug*

**DOI 10.22533/at.ed.8861914039**

**CAPÍTULO 10 ..... 103**

ESTUDO COMPARATIVO DO LIXIVIADO GERADO POR RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICO E ELETROELETRÔNICO EM SIMULAÇÃO DE ATERRO SANITÁRIO

*Beatriz Rodrigues de Barcelos*

*Caio Soares Camargos*

*Gabriel Alves Teixeira*

*Lorena Silva Pereira*

*Ygor dos Santos Carneiro*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140310**

**CAPÍTULO 11 ..... 116**

DESMONTAGEM E CARACTERIZAÇÃO DE LÂMPADAS LED PARA RECUPERAÇÃO DE MATERIAIS

*Emanuele Caroline Araujo dos Santos*

*Alini Luísa Diehl Camacho*

*Leonardo Daniel Rauber*

*Carlos Alberto Mendes Moraes*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140311**

**CAPÍTULO 12 ..... 126**

CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE PETROLINA/PE

*David José Oliveira da Silva*

*Iago Santos Calábria*

*Walter de Moraes Calábria Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140312**

**CAPÍTULO 13 ..... 136**

AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE COMO MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

*Joana Gomes Meller*  
*Letícia Torres Maia*  
*Oscar Rubem Klegues Montedo*  
*Dachamir Hotza*  
*Hiany Mehl Zanlorenzi*  
*Silvana Meister Sommer*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140313**

**CAPÍTULO 14 ..... 147**

ANÁLISE DOS PLANOS MUNICIPAIS DE GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO ESTADO DO PARANÁ

*Daniel Poletto Tesser*  
*Luciana Janoni Botelho de Freitas do Nascimento*  
*Antônio Carlos de Francisco*  
*Cassiano Moro Piekarski*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140314**

**CAPÍTULO 15 ..... 160**

ANÁLISE DA VIABILIDADE TÉCNICA DO AQUECIMENTO DE ÁGUA ATRAVÉS DE UM AQUECEDOR SOLAR FEITO COM MATERIAL RECICLÁVEL

*Maiara Stein Wünsche*  
*Nadine Rech Medeiros Serafim*  
*Rafaela Picolotto*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140315**

**CAPÍTULO 16 ..... 170**

ANÁLISE DA MISTURA DO AGREGADO RECICLADO DE RCD ASSOCIADO AO SOLO LATERÍTICO PARA UTILIZAÇÃO NA CAMADA DE BASE DE PAVIMENTOS

*Natássia da Silva Sales*  
*Caio César Luz Araújo*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140316**

**CAPÍTULO 17 ..... 182**

ANÁLISE DA ECOEFICIÊNCIA DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM USINA SUCROALCOOLEIRA NO PIAUI

*Lilian de Castro Moraes Pinto*  
*Maria do Socorro Lira Monteiro*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140317**

**CAPÍTULO 18 ..... 191**

ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

*Manoela Paiva de Amorim Santos*  
*Rafael de Freitas Taves*  
*Alexandre Lioi Nascentes*  
*Armando Borges de Castilhos Junior*

**DOI 10.22533/at.ed.88619140318**

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 203**

## AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE RESÍDUOS GERADOS PELA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE COMO MATERIAIS ALTERNATIVOS PARA A INDÚSTRIA CIMENTEIRA

### **Joana Gomes Meller**

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC  
Blumenau – SC

### **Letícia Torres Maia**

Universidade do extremo sul catarinense –  
UNESC  
Criciúma – SC

### **Oscar Rubem Klegues Montedo**

Universidade do extremo sul catarinense –  
UNESC  
Criciúma – SC

### **Dachamir Hotza**

Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC  
Florianópolis – SC

### **Hiany Mehl Zanlorenzi**

KLABIN S.A  
Telêmaco Borba-PR

### **Silvana Meister Sommer**

KLABIN S.A  
Telêmaco Borba-PR

**RESUMO:** O aumento da atividade industrial conduz a um maior consumo de recursos naturais e conseqüentemente maior geração de resíduos. Portanto, estudos que tendem a valorização destes subprodutos têm atraído cada vez mais interesse. Este trabalho objetiva apresentar uma visão geral da possibilidade da utilização de três resíduos gerados no processo para obtenção da celulose: Os grits,

as cinzas volantes e o lodo de estação de tratamento de efluente, como matérias-primas alternativas, caracterizando-os através de análises físico-químicas e também em relação a sua periculosidade quanto a norma ABNT NBR 10004:2004, visando a incorporação dos mesmos em processos para obtenção de materiais cimentícios. A análise de Fluorescência de Raio – X, mostrou a predominância de carbonato de cálcio (51,10%), sílica (43,63%) e perda ao fogo (74,47%) para grits, cinzas volantes e lodo de estação de tratamento de efluentes, respectivamente. Os difratogramas de raios X, identificaram fases calcita e quartzo para ambos os resíduos. A análise térmica mostrou pico endotérmico (745°C) para o grits, referente a descarbonatação e picos exotérmicos (359 °C e 434 °C) para o lodo de estação de tratamento de efluente, possibilitando a utilização deste material como combustível alternativo no processo de clínquerização. Os resultados referentes a umidade para grits, cinza volantes e lodo de estação de tratamento são de 13,43%, 21,65 % e 87% respectivamente. Deste modo, as conclusões apontam os resíduos como materiais alternativos com potencial para a obtenção de clínqueres, pois suas características são semelhantes com as das matérias-primas usualmente utilizadas nas cimenteiras.

**PALAVRAS-CHAVE:**

Resíduos,

**ABSTRACT:** The increase of industrial activity leads to a higher consumption of natural resources and, consequently, a larger generation of waste. Therefore, studies that tend to value these by-products have attracted a greater interest. Hence, this paper presents an overview of the possibility of using three residues from the pulping process: grits, fly ash and effluent treatment sludge as an alternative raw material, characterizing them through physical-chemical analysis and also in relation to their dangerousness according to the norm ABNT NBR 10004:2004, aiming to incorporate the same in processes to obtain cementitious materials. The x-ray fluorescence analysis showed the *predominance of calcium carbonate (51.10%), silica (43.63%) and loss on ignition (74.47%) for grits, fly ash and effluent treatment sludge, respectively.* The x-ray diffraction identified calcite and quartz phases for both residues. *The thermal analysis showed endothermic peak (745°C) for the grits, referring to decarbonation and exothermic peaks (359 °C and 434 °C) in effluent treatment sludge, making it possible to use this material as an alternative fuel in the clinkering process. The results for the humidity to grits, fly ash and effluent treatment sludge are 13.43%, 21.65% and 87% respectively. Thus, the conclusions point out the residues as potential alternative materials to obtain clinkers, once their characteristics are similar to those of the raw materials usually used in cement plants.*

**KEYWORDS:** Wastes, Potentiality, Cementitious materials.

## 1 | INTRODUÇÃO

O consumo de recursos naturais (matérias-primas) e de energia aumenta proporcionalmente ao crescimento e ao desenvolvimento da população mundial, o que acarreta conseqüentemente em uma maior geração de resíduos (PEREIRA, 2006).

A preocupação ambiental diz respeito, entre outras coisas, ao consumo excessivo ou ineficiente de recursos naturais não renováveis, e ao fato do meio ambiente ser o destino final de todos os resíduos gerados nas etapas de processos. Sabendo que apenas 6% do fluxo de materiais no mundo acabam em produtos de consumo, e que o restante retorna ao meio ambiente na forma de resíduos, efluentes e emissões, cresce cada vez mais estudos relacionados à reutilização e reciclagem destes resíduos, como uma possível fonte de matéria-prima para outros processos produtivos (MEHTA e MONTEIRO, 2005).

Como em todo processo industrial, a produção de pasta de papel e celulose por via química gera resíduos sólidos com diferenças em termos de composição e teor de umidade, e em grandes volumes. Alguns destes resíduos são: os grits, provenientes do sistema de recuperação de reagentes químicos, cuja composição predominante é carbonato de cálcio, as cinzas volantes, geradas na produção de energia nas caldeiras de biomassa, que são ricas em sílica e os lodos das estações de tratamento

de efluentes (lodo de ETE) que são ricos em matéria orgânica (ARROJA, et al., 2006). A crescente produção de celulose no Brasil abre espaço para a pesquisa da correta disposição dos resíduos gerados, tanto do ponto de vista econômico, quanto do ponto de vista ambiental. Sabendo que para cada 1,0 tonelada de celulose produzidas, são gerados 0,212 tonelada de resíduos sólidos, aumenta a necessidade de se encontrar uma destinação adequada para os mesmos (CENIBRA, 2015).

Nesta temática, os resíduos de uma indústria são reutilizados como substitutos de matérias-primas virgens para outros segmentos, reduzindo o impacto ambiental de ambos os processos (MEHTA e MONTEIRO, 2005).

Dentre as propostas de valorização dos resíduos provenientes da indústria de papel e celulose, pode-se citar o reaproveitamento do grits e das cinzas volantes como substitutos se não por completo, mas parcial das matérias primas na fabricação de clínqueres e cimentos, e também do lodo de ETE, que por ser composto basicamente de material orgânico, pode aportar energia ao processo durante a fase de calcinação do material (LYN, et al., 2012).

A lama de cal, um outro resíduo gerado no processo de obtenção da celulose, devido a sua composição ser rica em carbonato de cálcio, também pode ser reaproveitada juntamente com as cinzas volantes como fontes de matérias primas alternativas para obtenção de clínqueres. (SEABRA, et al., 2015). Uma outra forma de viabilidade para o reaproveitamento dos resíduos grits, seria como substituto em diferentes percentuais em massa à areia na argamassa de cimento, pois os resultados obtidos em relação a durabilidade quando comparados à uma argamassa padrão, mostraram-se semelhantes. (ZANELLA, et al., 2015).

O setor de materiais cimentícios se destaca como um ótimo receptor dos mais variados resíduos industriais e a substituição das suas matérias primas irá contribuir para o crescimento do setor, com estimativa de demanda anual em 2050, na ordem de 18 bilhões de toneladas (MEHTA e MONTEIRO, 2005).

A valorização de resíduos em materiais cimentícios tem sido bastante utilizada na atualidade, pois estes materiais reúnem algumas características que inertizam/estabilizam os efeitos tóxicos de alguns elementos. Além disso, alguns tipos de resíduos possuem composições químicas e mineralógicas que os potencializam como substitutos parcial ou total das matérias-primas tradicionais (MARTINS et al., 2007).

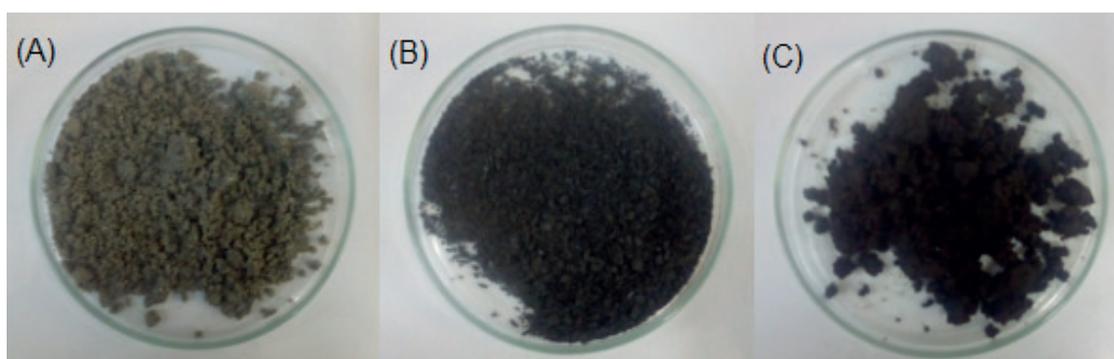
Assim, este trabalho tem por objetivo propiciar uma visão geral da possibilidade da utilização de três resíduos gerados no processo para obtenção da celulose: O grits, as cinzas volantes e o lodo de ETE como materiais alternativos, caracterizando-os através de análises físico-químicas e também em relação a sua periculosidade quanto a norma ABNT NBR 10004:2004, visando a incorporação dos mesmos em processos para obtenção de materiais cimentícios.

## 2 | OBJETIVO

Avaliar através de caracterizações físico-químicas e periculosidade (ABNT NBR 10004:2004) a possível potencialidade de três resíduos gerados pela indústria de papel e celulose (grits, cinza volante e lodo de ETE) como possíveis materiais alternativos para o setor da construção civil.

## 3 | METODOLOGIA

Dentre os resíduos gerados pela indústria de papel e celulose, foram escolhidos três (Figura 1) para o desenvolvimento do presente estudo em relação a potencialidade dos mesmos como possíveis materiais alternativos para obtenção de materiais cimentícios: o grits, resíduo oriundo da etapa de caustificação do licor verde, as cinzas volantes provenientes da queima da biomassa nas caldeiras e o lodo de ETE de todo o processo produtivo.



**Figura 1** - Resíduos utilizados: (A) Grits (B) Cinzas volantes (C) Lodo de ETE.

Para a caracterização e avaliação dos resíduos, foram realizadas análise química por fluorescência de raios X (FRX), análise de difratometria de raios X (DRX), análise térmica diferencial e termogravimétrica (ATD/TG), teor de umidade, teor em sólidos, determinação dos tamanhos de partícula, densidade e também em relação a sua periculosidade baseado-se na norma NBR 10004:2004 (ABNT, 2004a).

A análise química quantitativa foi realizada pela técnica de espectrofotometria de fluorescência de raios X (FRX, Philips PW 2400). As amostras foram secas a 105°C e posteriormente moídas e peneiradas (200 mesh). Uma parte da amostra foi fundida com tetraborato de lítio (proporção de 1:10 respectivamente) para análise no espectrofotômetro e uma parte calcinada a 1000°C para determinação da perda ao fogo.

A composição mineralógica dos resíduos foi determinada por Difração de Raios X (DRX). As amostras foram secas a 105°C e posteriormente moídas e peneiradas (200 mesh). O equipamento utilizado no ensaio foi um difratômetro Bruker – D8 com goniômetro theta – theta, que opera com radiação K.α.Cu ( $\lambda = 1,5418$ ) nas condições

de 40kV e 40mA. A velocidade e o intervalo de varredura do goniômetro são 1 grama de pó a 1 segundo para  $0,02^\circ$  do goniômetro de  $2^\circ$  a  $72^\circ$  2 theta, respectivamente.

O comportamento térmico foi avaliado através de análises térmicas gravimétrica (TG) e diferencial (ATD) em um calorímetro diferencial de varredura (DSC, SDT Q600). As amostras foram secas a  $105^\circ\text{C}$ , moídas, peneiradas (200 mesh) e colocadas em cadinhos de alumina. O ensaio foi realizado com atmosfera de ar sintético até  $1400^\circ\text{C}$  e taxa de aquecimento de  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ .

Para determinação do teor de umidade e conseqüentemente do teor de sólidos dos resíduos, foram considerados relacionando-se seus pesos iniciais (como são gerados) e seus pesos após secagem em estufa à  $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ , por 24 horas.

A determinação da distribuição de tamanhos de partícula dos resíduos foi realizada por difração a laser (Mastersizer, 2000 Hydro).

Para a determinação da densidade, as amostras foram previamente secas a  $105^\circ\text{C}$ , moídas e peneiradas (200 mesh). O ensaio foi realizado utilizando um Picnômetro a gás (Ultrapyc 1200e).

A classificação dos resíduos em relação a sua periculosidade foi determinada de acordo com a norma NBR 10004:2004, avaliando sua inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade.

#### 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição química dos resíduos reflete a sua origem e o tratamento pelo qual os mesmos passam no processo produtivo. Hipótese esta, confirmada pelos resultados obtidos nas análises químicas por espectrofotometria de fluorescência de raios X (Figura 2).

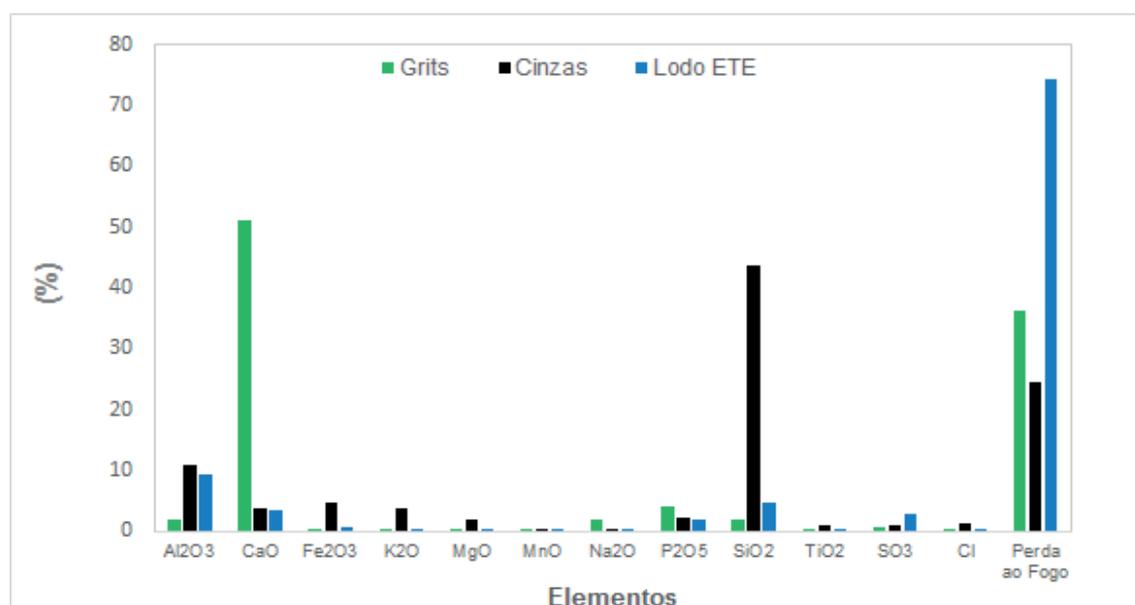


Figura 2 - Composições químicas (% em massa) dos resíduos.

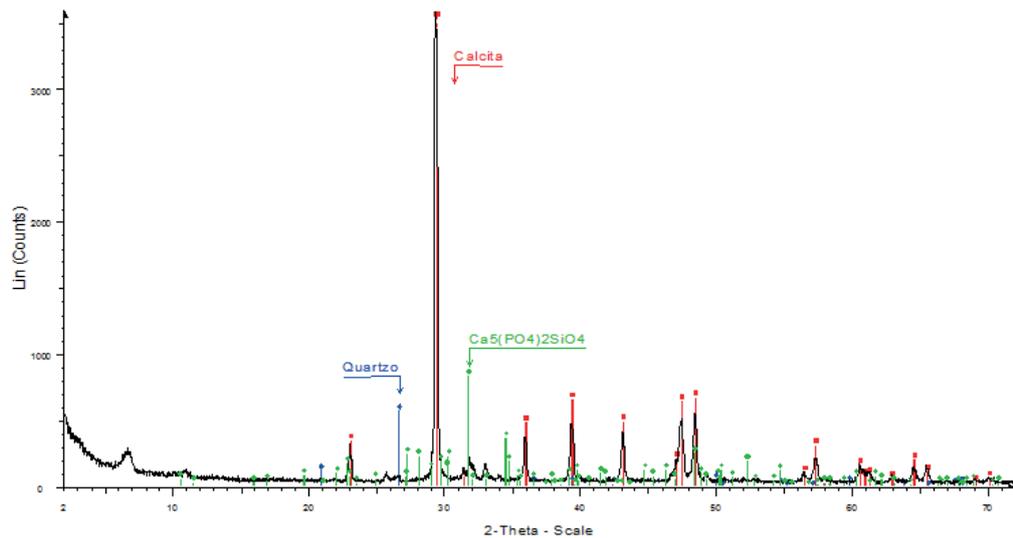
Os Grits, resíduo oriundo do circuito de recuperação de químicos, mais especificamente nos caustificadores, apresentou uma alta concentração de óxido de cálcio (51,18%), sendo coerente com o valor obtido para a perda ao fogo (36,3%), pois este valor corresponde majoritariamente ao dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) produzido na decomposição do carbonato de cálcio. Ele também possui um teor de sódio (2,01%) mais elevado que os demais resíduos, devido a composição dos reagentes contidos no licor negro durante as etapas de recuperação química do processo industrial. Esses elementos de ação fundente, provêm maior formação de fase líquida, diminuindo a porosidade e conseqüentemente favorecendo a densificação do material na clinquerização.

As cinzas volantes são geradas na combustão da biomassa utilizada para produção de energia. Sua composição química apresentou uma alta concentração de sílica (43,63%), além de conter percentuais consideráveis de outros óxidos importantes no processo para obtenção de materiais cimentícios, como  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (10,96%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4,8%) e  $\text{CaO}$  (3,85%).

Já o lodo de ETE, por ser gerado no tratamento primário/secundário das águas residuais, apresenta elevada perda ao fogo (74,47%), demonstrando que seus elementos sólidos presentes, são majoritariamente de natureza orgânica, sendo um elemento que pode ser utilizado como combustível alternativo na reação do processo na indústria cimenteira. Também apresentou em sua composição química (Figura 2), um valor de  $\text{SO}_3$  (2,9%) superior ao grits (0,8%) e as cinzas volantes (1,02). Este é um parâmetro importante, já que interfere nas proporções das fases cristalinas formadas durante a clinquerização.

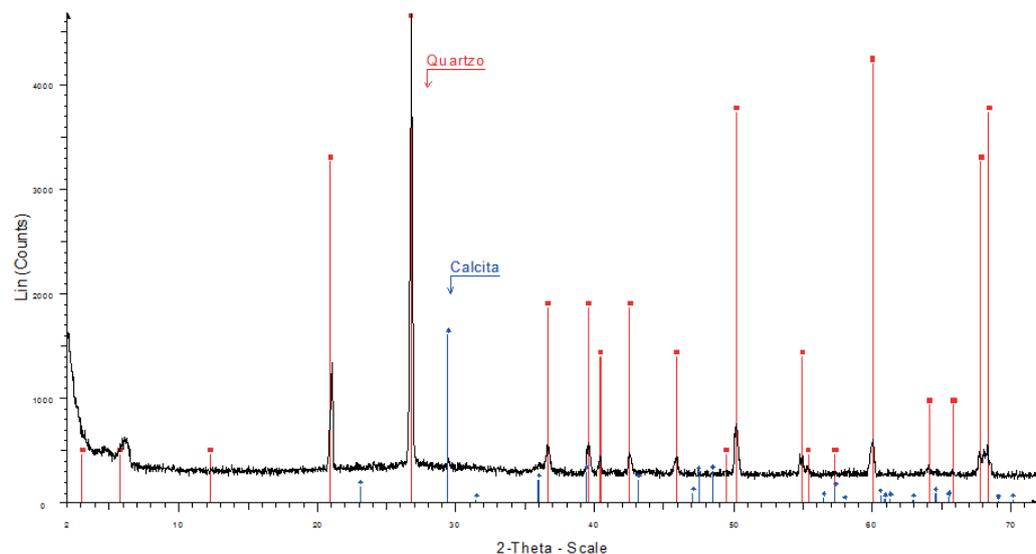
Sendo assim, os resultados obtidos por FRX demonstraram potencialidade dos resíduos para substituição das matérias-primas na produção de clínquer.

Os resultados obtidos para o difratograma de raios X do grits (Figura 3) detectou a presença das fases calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e também foi identificado um pico de  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_2\text{SiO}_4$ , o que foi coerente com os resultados obtidos para a análise química (Figura 2), onde observou-se a predominância do óxido de cálcio e também a presença de sílica e pentóxido de fósforo. Compostos minoritários identificados na análise química (Figura 2) não foram identificados nos difratogramas de raios X devido ao seu baixo teor nos resíduos.



**Figura 3** - Difratoograma de raios X do resíduo Grits.

A composição mineralógica e química das cinzas volantes depende fundamentalmente da fonte de biomassa florestal utilizada. Os resultados obtidos para o difratograma de raios X detectaram a presença das fases cristalinas quartzo ( $\text{SiO}_2$ ) e calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), sendo coerentes com a presença majoritária de sílica e a presença de óxido de cálcio observados nos resultados de FRX (Figura 2).



**Figura 4** - Difratoograma de raios X das cinzas volantes.

Para as amostras do lodo de ETE, não foi realizada a análise mineralógica, pois de acordo com o observado na análise química (Figura 2), o resíduo é maioritariamente orgânico.

O comportamento térmico dos resíduos foi estudado mediante a realização de análises térmicas diferencial (ATD) e gravimétrica (TG). Os resultados obtidos na análise de ATD do grits, observada na Figura 5, mostra uma banda endotérmica centrada nos  $744,63^\circ\text{C}$ , característica da decomposição da calcita ( $\text{CaCO}_3$ ), causada principalmente pela liberação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Fato este, comprovado com a perda de

massa de aproximadamente 33,57% observada na análise termogravimétrica (TG) (Figura 6) e com a o valor de perda ao fogo (36,3%) observado na análise química.

O ATD da amostra de cinzas volantes (Figura 5) apresenta um pico exotérmico em 455,01°C correspondente à liberação de água e à decomposição de matéria orgânica.

O comportamento térmico do lodo de ETE (Figura 5), mostra um pico exotérmico intenso centrado nos 433,62°C, correspondente à queima de matéria orgânica. Também neste caso, a perda total de peso estimada pela curva de TG (cerca de 64,51%) é coerente ao valor de perda ao fogo (74,47%) indicado na análise química (Figura 2).

Essas reações exotérmicas são relevantes para as cimenteiras, já que promovem a redução do consumo de combustíveis no processo de clínquerização.

Conforme demonstrado na análise química (Figura 2), os três resíduos apresentam grande perda ao fogo, seja pela descarbonatação dos compostos presentes nos grits, ou pela queima de material orgânico presente nas cinzas volantes e no lodo de ETE.

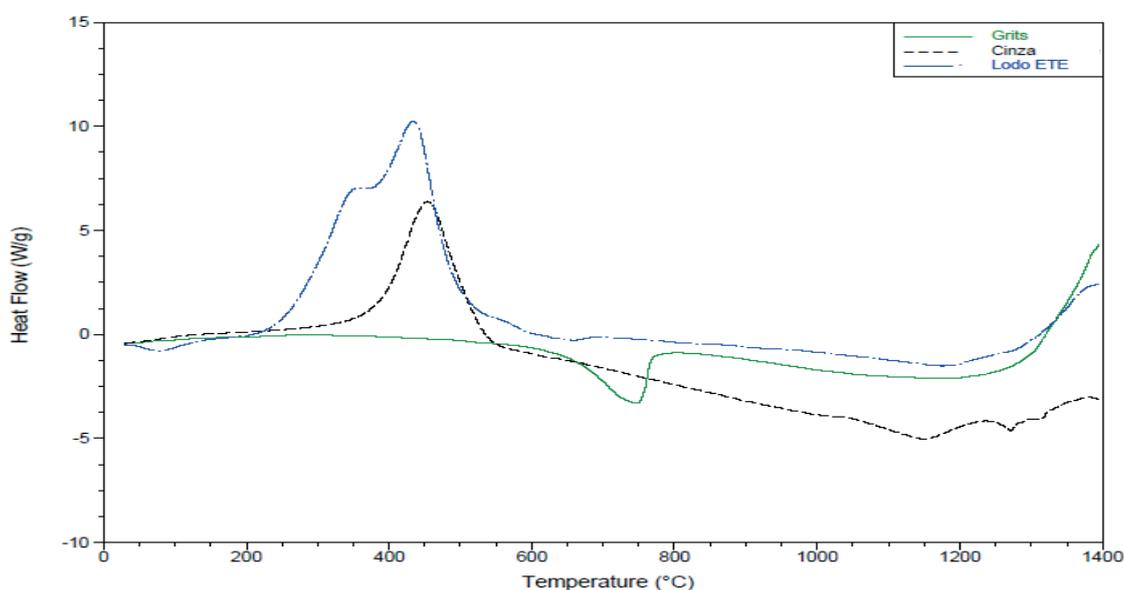


Figura 5 - Análise Térmica Diferencial dos resíduos estudados.

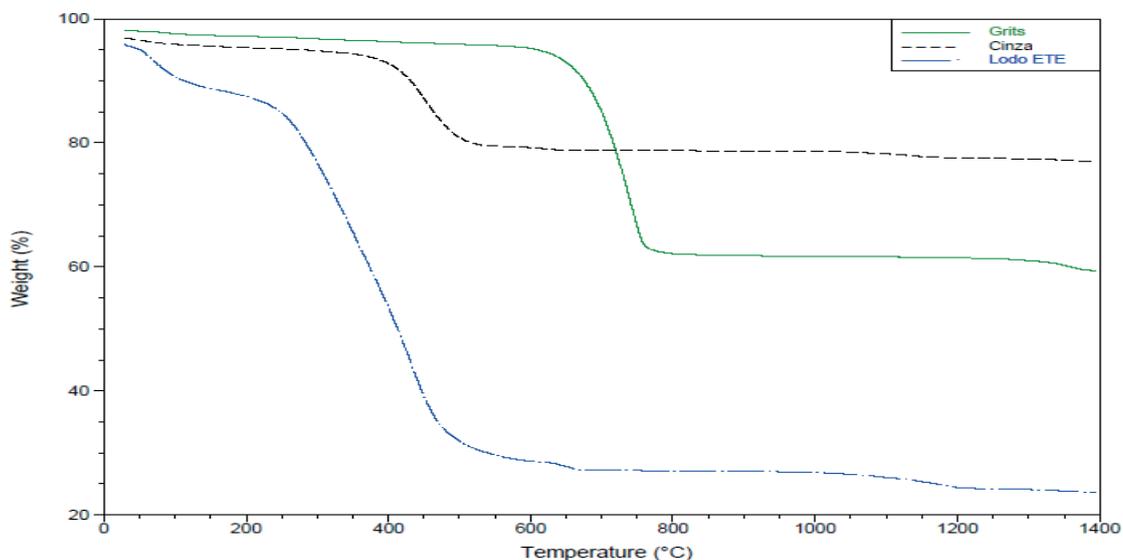
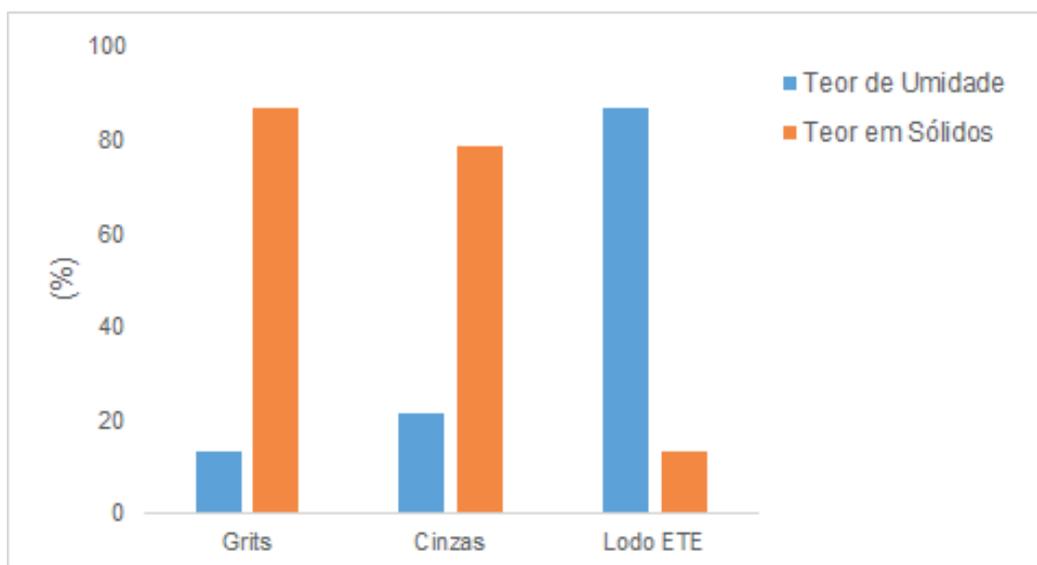


Figura 6 - Termogravimetria dos resíduos estudados.

Os resultados obtidos em relação ao teor de umidade e teor de sólidos dos resíduos estão descritos na Figura 7.



**Figura 7** – Teor de umidade e de sólidos dos resíduos estudados.

Os resíduos grits e cinzas volantes, apresentam umidade relativamente baixa, na ordem de 13,22 e 21,34% respectivamente. Já o lodo de ETE, apresenta uma umidade na ordem de 87%, esse baixo valor teor de sólidos (13%) é devido a maior parte dos sólidos em suspensão no efluente (areias, fibras, carbonatos e resíduos de madeira) serem retirados já no tratamento primário.

Os teores de umidade dos resíduos são importantes, uma vez que um alto teor de umidade inviabilizaria seu uso em formulações para obtenção de materiais cimentícios. Neste sentido, caso o lodo de ETE seja utilizado como material alternativo, o seu percentual nas formulações deve ser controlado e a umidade resultante da mistura com os demais resíduos é que deve ser levada em consideração, viabilizando assim, a obtenção de formulações de farinhas cruas com umidades aceitáveis para o processo de clínquerização.

A distribuição de tamanhos de partículas é outro fator importante quando se trata da análise de potencialidade da utilização de resíduos no processo de clínquerização, uma vez que quanto maior for a área superficial, ou seja, menor for o tamanho das partículas, mais fácil ocorrerá a reação nos fornos. A análise granulométrica permite verificar se há necessidade ou não de um pré-processamento dos resíduos, antes da sua incorporação em uma matriz cimentícia, pois segundo Mehta e Monteiro (2005), o tamanho de partícula ideal seria abaixo de  $75\mu\text{m}$ .

Os resultados obtidos para os resíduos em estudo, mostram tamanhos médios de partículas variados. Os grits, por serem mais arenosos, apresentam partículas entre 170 a  $643\mu\text{m}$ . Dos resíduos, é o que tem uma maior variação na sua faixa de distribuição de tamanhos, isso é resultado de uma formação por aglomeração de partículas de meios diversos, provavelmente não só da incorporação de impurezas da rocha calcária calcinada para produção de cal, como também de resíduos do próprio

forno e da lama de cal reprocessada. As cinzas volantes apresentam tamanhos médios de partículas de 118  $\mu\text{m}$ , enquanto o lodo da estação da ETE possui um valor de tamanho médio mais elevado que o da cinza (232  $\mu\text{m}$ ) devido ao seu elevado teor de umidade (Figura 7), que facilita a aglomeração das partículas.

Os valores médios observados nestes resíduos potencializam a sua incorporação como materiais alternativos para obtenção de materiais cimentícios, não havendo, portanto, dificuldade para processar esses materiais.

Na tabela 1, estão demonstrados os valores obtidos referentes a densidade dos resíduos em estudo.

Resíduos	Densidade (g/ $\text{cm}^3$ )	Desvio Padrão
Grits	2,8673	0,0015
Cinzas Volantes	2.4167	0.0100
Lodo ETE	1.6115	0.0005

**Tabela 1** – Densidade dos resíduos em estudo.

Em relação a classificação dos resíduos quanto a sua periculosidade pela NBR 10004 (ABNT, 2004a), os resultados mostram que nem um dos resíduos apresentam características de inflamabilidade.

O resíduo grits foi classificado como Classe I - Resíduo Perigoso, devido a sua corrosividade por apresentar pH igual a 12,80 em sua mistura com água na proporção de 1:1 em peso, ultrapassando o limite estabelecido pela norma (2,0 a 12,5). Por não constituir em sua composição íons cianeto e sulfeto acima dos estabelecidos pela norma, o resíduo foi caracterizado como não reativo. O ensaio de lixiviação não identificou nem um parâmetro acima dos estabelecidos por norma, caracterizando-o como não tóxico. Já no ensaio de solubilização, a concentração de alumínio (1,07 mg/L), índice de fenóis (0,11mg/L) e sódio (2230 mg/L) ultrapassaram os limites máximos permitidos pela norma (0,2; 0,01 e 200 mg/L, respectivamente).

As cinzas volantes, por apresentarem pH igual a 10,07 foram caracterizadas como não corrosivas, não reativas e não tóxicas pois nenhum dos parâmetros analisados ultrapassaram o limite estabelecido pela norma. No ensaio de solubilização, a concentração de alumínio (18 mg/L) e sulfato (1120 mg/L) apresentam concentrações superiores aos padrões (0,2 mg/L e 250mg/L respectivamente), caracterizando-a como um resíduo não perigoso - classe II A - não inerte.

O lodo de ETE apresenta concentrações de manganês (284,07 mg/L) e sódio (0,19 mg/L) acima dos limites permitidos pela norma (0,1 e 200 mg/L) em relação ao ensaio de solubilização, sendo classificado como classe II A – não inerte.

## 5 | CONCLUSÃO

As análises dos resultados obtidos neste estudo permitem identificar potencialidade nos três resíduos provenientes da fabricação de papel e celulose (grits, cinzas volantes e lodo de ETE) como possíveis materiais alternativos para a indústria cimenteira. Isso se dá ao fato dos resíduos apresentarem compatibilidade química com as matérias-primas tradicionalmente utilizadas para fabricação de clínquer/cimento. Esta compatibilidade é devido a presença majoritária dos óxidos presentes nos resíduos ( $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  e  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Os difratogramas de raios X identificaram as fases cristalinas calcita e quartzo, comprovando os resultados obtidos na análise química. Os teores de umidade não são prejudiciais no presente estudo, já que apenas o lodo de ETE apresentou valor elevado, necessitando apenas de ajustes nas formulações para que os teores total da mistura da farinha não ultrapasse os valores ideais. Do ponto de vista ambiental, tem-se resíduos não perigosos (lodo de ETE e cinzas volantes) e também perigoso (grits), que ao sofrer o processo de clinquerização pode resultar em um produto final não perigoso, sendo necessário um ensaio de lixiviação para comprovar. O estudo desenvolvido demonstra viabilidade técnica e ambiental para o reaproveitamento destes materiais.

## REFERÊNCIAS

ARROJA, L.; LOURO, M.; CAPELA, I. **Gestão integrada de resíduos em fábricas de pasta para papel em Portugal**. Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 2006.

CENIBRA – CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S/A. **Relatório de sustentabilidade, 2015**. Disponível em: < [http://www.cenibra.com.br/wp-content/uploads/2015/06/RELATORIO\\_SUSTENTABILIDADE-2014\\_FINAL.pdf](http://www.cenibra.com.br/wp-content/uploads/2015/06/RELATORIO_SUSTENTABILIDADE-2014_FINAL.pdf) >. Acesso em: 03 Março. 2017.

LIN, Y.; ZHOU, S.; LI, F.; LIN, Y. **Utilization of municipal sewage sludge as additives for the production of eco-cement**. Journal of Hazardous Materials. V.213, p.457-465, 2012.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 3. ed. [S.l.]: [s.n.], 2005.

RAUPP-PEREIRA, F. **Valorização de resíduos industriais como fonte alternativa mineral: composições cerâmicas e cimentícias**. Aveiro, 235 p., 2006. Tese (Doutorado) - Universidade de Aveiro.

SEABRA, J.A.; BURUBERRI, L.H.; LABRINCHA, J.A. **Preparation of clinker from paper pulp industry wastes**. Journal of Hazardous Materials. V.286, p.252-260, 2015.

ZANELLA, B.P.; TRANNIN, I.C.B. **Recycling residues from the pulp and paper industries in the civil construction**. The Electronic Journal of Geotechnical Engineering, v. 20

## **SOBRE O ORGANIZADOR**

**Leonardo Tullio** - Doutorando em Ciências do Solo pela Universidade Federal do Paraná – UFPR (2019-2023), Mestre em Agricultura Conservacionista – Manejo Conservacionista dos Recursos Naturais (Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR (2014-2016), Especialista MBA em Agronegócios – CESCAGE (2010). Engenheiro Agrônomo (Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais- CESCAGE/2009). Atualmente é professor colaborador do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG, também é professor efetivo do Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais – CESCAGE. Tem experiência na área de Agronomia. E-mail para contato: leonardo.tullio@outlook.com

Agência Brasileira do ISBN  
ISBN 978-85-7247-188-6

