

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAÍS FERRAZ ZORDAN

IMPLANTAÇÃO DE CENTRAL PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS  
PROVENIENTES DE UMA FÁBRICA INTEGRADA DE CELULOSE E PAPEL

CURITIBA/PR

2021

THAÍS FERRAZ ZORDAN

IMPLANTAÇÃO DE CENTRAL PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS  
PROVENIENTES DE UMA FÁBRICA INTEGRADA DE CELULOSE E PAPEL

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de MBA em Gestão Ambiental, Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Dhyogo Miléo Taher.

CURITIBA/PR

2021

## **TERMO DE APROVAÇÃO**

THAÍS FERRAZ ZORDAN

IMPLANTAÇÃO DE CENTRAL PARA TRATAMENTO DE RESÍDUOS  
PROVENIENTES DE UMA FÁBRICA INTEGRADA DE CELULOSE E PAPEL

Artigo aprovado como requisito parcial para conclusão do curso de MBA em gestão Ambiental no Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Dhyogo Miléo Taher

Curitiba, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2021

# **Implantação de Central para Tratamento de Resíduos Provenientes de uma Fábrica Integrada de Celulose e Papel**

Thaís Ferraz Zordan

## **RESUMO**

Os interesses em preservação ambiental e os interesses econômicos estão presentes na maior parte das discussões de indústrias, empresários, e qualquer tipo de atividade que necessite de recursos naturais ou gere algum impacto para o meio ambiente, caso não haja um controle efetivo. As soluções almejadas abordam a harmonia entre os aspectos ambientais, sociais e econômicos. Empresas, indústrias e quaisquer atividade potencialmente poluidoras compartilham da preocupação com possíveis contaminações de solos e dos lençóis freáticos em função do mal acondicionamento de resíduos. Com o passar dos anos, a tendência é que os órgãos ambientais e a Legislação Brasileira dificultem cada vez mais os licenciamentos para aterros industriais, impulsionando as empresas a buscarem técnicas para transformação de resíduos em matérias primas. Dentro deste contexto, o presente trabalho discorre sobre a implantação de uma central para tratamento de resíduos, que realiza a compostagem a partir de resíduos gerados no processo produtivo de uma fábrica integrada de celulose e papel. O projeto é resultado da parceria entre uma fábrica integrada de celulose e papel e uma empresa de fertilizantes, e com apenas um mês de sua implantação foi possível visualizar esse avanço reduzir em 40% o envio de resíduos para aterro.

Palavras-chave: Resíduo sólido. Celulose. Compostagem. Fertilizantes. Sustentabilidade.

## **ABSTRACT**

Interests in environmental preservation and economic interests are present in most industries, entrepreneurs, and any type of activity that requires natural resources or generates some impact on the environment, if there is no effective control. The desired solutions address the harmony between environmental, social and economic aspects. Companies, industries and any potentially polluting activities share the concern with possible contamination of soils and groundwater due to poor waste conditioning. Over the years, the trend is that environmental agencies and Brazilian legislation make licensing for industrial landfills increasingly difficult, encouraging companies to seek techniques for transforming waste into raw materials. Within this context, this paper discusses the implementation of a center for waste treatment, which composts from waste generated in the production process of an integrated pulp and paper factory. The project is the result of a partnership between an integrated pulp and paper factory and a fertilizer company, and just a month after its implementation, it was possible to see this reduction in waste sent to landfill by 40%.

Keywords: solid waste. Pulp. Compost. Fertilizer. Sustainability.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Produção, importação e exportação de celulose em milhares de toneladas entre os anos de 2010 e 2019

Figura 2 – Fluxograma da produção de polpa celulósica kraft branqueada

Figura 3 – Início da degradação da matéria orgânica

Figura 4 – Projeção de envio de resíduos para aterro (kg/tsa)

Figura 5 – Projeção de envio de resíduos para aterro (Mton)

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Produção, importação e exportação de celulose em milhares de toneladas entre os anos de 2010 e 2019

Tabela 2 – Resultados das análises de caracterização dos resíduos

Tabela 3 – Média anual da geração de resíduos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>6</b>
1.1 OBJETIVO GERAL .....	7
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO .....	7
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>8</b>
2.1 SETOR FLORESTAL .....	8
2.2 PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE.....	9
2.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO PROCESSO .....	10
2.4 DESTINAÇÕES ALTERNATIVAS.....	11
2.5 COMPOSTAGEM E PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES .....	12
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>13</b>
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS .....	13
3.2 PREPARAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO.....	13
3.3 DISPOSIÇÃO DOS MATERIAIS .....	14
3.4 ESTRUTURA DAS PILHAS .....	14
3.5 ADIÇÃO DE QUÍMICOS.....	14
3.6 FATORES DE INFLUÊNCIA .....	14
3.7 MATURAÇÃO .....	14
<b>4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>15</b>
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>18</b>
<b>6 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>20</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado de celulose e papel é um ramo da indústria que está em constante crescimento, pois fornece itens essenciais para o consumo humano: papel para imprimir e escrever (revestidos e não revestidos); papéis absorventes (tissue); papel cartão, celulose e energia. Para tornar essa produção possível e alinhada com a busca constante pelo desenvolvimento sustentável – o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades atuais de forma a garantir a capacidade de atendimento as necessidades das gerações futuras – todos esses produtos são oriundos de matéria-prima sustentável renovável, vindas de florestas plantadas, certificadas e por meio de uma matriz energética majoritariamente renovável.

De uma forma geral, todos os processos produtivos geram resíduos e na indústria de papel e celulose isso não é diferente, sendo uma consequência da produção a grande geração de resíduos sólidos Classe II. Os recicláveis são encaminhados para reprocessamento – sucatas, plásticos, aparas de papel, borrachas – mas o maior desafio fica por conta dos que não tem uma destinação alternativa imediata e são levados para células de aterro.

Destinar resíduos para aterros licenciados e certificados é algo ambientalmente correto e previsto em licença operacional da fábrica, desde que a célula seja construída de acordo com as normas ABNT NBR 13896/97, sendo possível garantir que não haverá contaminação do solo ou do lençol freático. Mas para as empresas que estão comprometidas em fazer o melhor a cada dia, contribuindo para um crescimento ambiental em consonância com o econômico, isso não é o suficiente e a busca por aprimoramentos em técnicas para utilização de resíduos como matéria prima se torna constante.

A redução do envio de resíduos para aterro se tornou uma das principais metas da companhia. Dessa forma foi possível viabilizar o novo projeto para que após o adequado tratamento, esses resíduos se tornem matéria-prima para a produção de fertilizantes que posteriormente serão destinados às produções de culturas como mamão, cacau, pimenta do reino, abóbora, hortaliças, mandioca, café, coco e as próprias florestas da empresa.

Devido a capacidade do solo de inativar quimicamente alguns compostos como metais, que são retirados da solução do solo e retidos pela fase sólida por mecanismos de sorção, o uso de resíduos na agricultura tem se tornado bastante

comum. De acordo com a composição química de cada um, os resíduos podem ser utilizados no setor agrícola como fonte de nutrientes para as plantações ou como corretivos de acidez no solo. Isso tem se tornado possível devido aos novos tratamentos que tem surgido com o objetivo de reduzir o potencial poluidor (ALMEIDA et al., 2007).

A crescente produção de resíduos sólidos, a escassez de áreas para disposição final e os compromissos com a sustentabilidade sugerem a busca por alternativas. Os processos de compostagem geram benefícios econômicos e ambientais, com destaque para a redução do impacto ambiental, diminuição de resíduos sólidos e geração de inovações tecnológicas. Assim, a compostagem é uma maneira de atender as necessidades do mercado agrícola, reduzir a utilização de fertilizantes sintéticos e a necessidade ambiental, permitindo a reciclagem de nutrientes e a demanda das plantas (SANTOS et al., 2018).

Após estudos, testes em laboratórios e qualificação, foi evidenciada a viabilidade e o potencial para a produção de fertilizantes tendo como matéria prima resíduos provenientes da produção de papel e celulose.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo acompanhar a implantação de uma central para tratamento de resíduos que será instalada nas dependências de uma fábrica integrada de celulose e papel para tratar parte dos resíduos gerados no processo e transformá-los em compostos organo-minerais.

## 1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Como objetivos específicos, buscam-se: analisar os melhores mix de resíduos, bem como suas proporções de acordo com o produto final almejado; desenvolver a operação e adicioná-la a rotina da fábrica; trabalhar de acordo com as normas e autorizações ambientais; avaliar o desempenho e cumprimento das metas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 SETOR FLORESTAL

O segmento florestal do Brasil apresenta grande vantagem competitiva quando comparado a outros países, isso devido às condições climáticas favoráveis para ciclos de reprodução mais curtos da matéria-prima eucalipto, sendo esse um importante destaque (ALMEIDA et al, 2007).

Alguns números do setor de base florestal no Brasil de acordo com a Indústria Brasileira de Árvores (IBA) em 2020:

- Em 2019 teve um faturamento de 97,4 bilhões, tendo um relevante impacto na economia.
- Fechou 2019 com US\$ 10,3 bilhões de saldo na balança comercial – segundo melhor resultado em 10 anos.
- Geração de 3,75 milhões de empregos, diretos ou indiretos.
- R\$35,5 bilhões investidos em projetos para aumento de plantio, ampliação e construção de fábricas até 2023.
- Geração de R\$13 bilhões em tributos federais, estaduais e municipais.

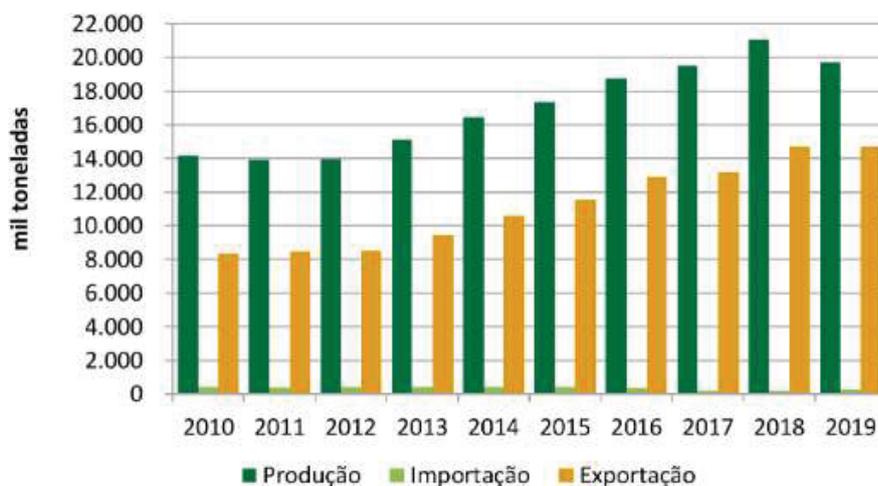
Além dos expressivos dados, também fica nítido o crescimento do setor se olharmos o volume de produção e exportação nos últimos anos, conforme TABELA 1 e FIGURA 1 abaixo:

TABELA 1 – Celulose (mil toneladas)

Ano	Produção	Importação	Exportação
2010	14.164	412	8.375
2011	13.922	392	8.478
2012	13.977	411	8.513
2013	15.127	430	9.430
2014	16.465	416	10.614
2015	17.370	407	11.528
2016	18.773	357	12.901
2017	19.527	211	13.199
2018	21.085	180	14.722
2019	19.691	253	14.726

FONTE: IBA (2021)

FIGURA 1 – Celulose (mil toneladas)

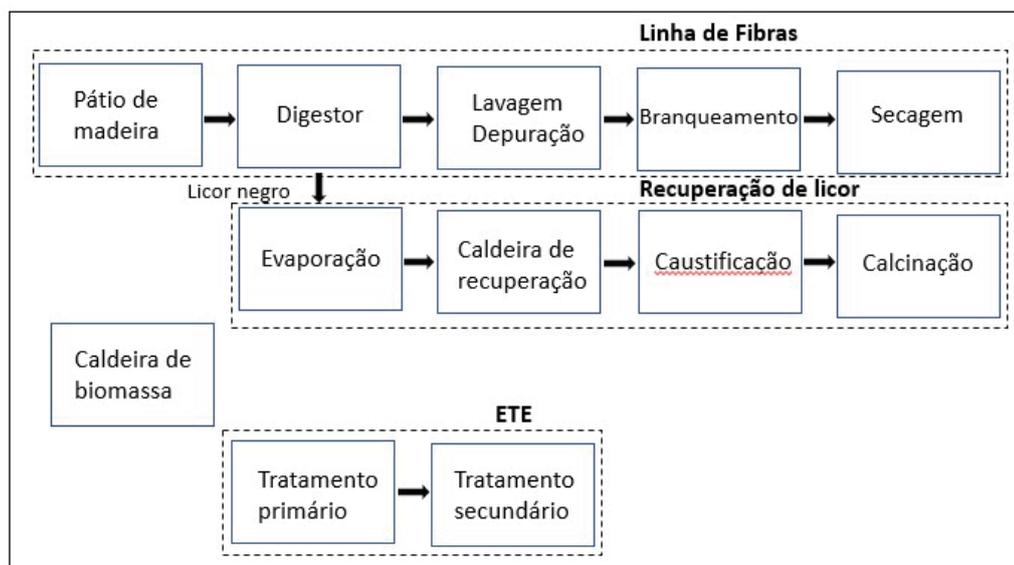


FONTE: IBA (2021)

## 2.2 PRODUÇÃO DE PAPEL E CELULOSE

Entre os processos existentes para a produção de polpa celulósica destaca-se o Kraft como o mais utilizado, inclusive no Brasil. As principais etapas de produção são mostradas na FIGURA 2:

FIGURA 2 – Fluxograma de produção de polpa celulósica kraft branqueada



ELABORAÇÃO: O autor (2021)

A produção de polpa celulósica consiste basicamente na degradação e remoção da substância responsável pela união das fibras de celulose e hemicelulose na madeira, a lignina. A partir da separação das fibras que constituem a madeira ela

pode se transformar em polpa celulósica. Para separar sem degradar excessivamente as fibras, são utilizadas substâncias químicas e energia térmica capazes de causar a degradação e solubilização da lignina. O processo Kraft – utilizado para a produção de mais de 90% da polpa celulósica produzida no Brasil – consiste no cozimento da madeira com uma solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S), a uma temperatura entre 160-170°C (MUDADU, 2011).

Após o cozimento é realizado o branqueamento da polpa kraft, o qual acontece em sequências de múltiplos estágios para otimizar o uso de reagentes químicos e preservar a qualidade da polpa. Após o último estágio de branqueamento, a polpa branqueada segue para as máquinas de papel e/ou secagem.

### 2.3 GERAÇÃO DE RESÍDUOS NO PROCESSO

Os processos industriais geram resíduos que podem ser sólidos, líquidos ou gasosos. Todos merecem atenção e cuidados especiais devido a importância ambiental, porém os de origem sólida se destacam por serem volumosos e ocuparem grande espaço.

Fábricas integradas de polpa celulósica e papel geram variedade e quantidade de resíduos sólidos, classificados como Classe II de acordo com ABNT NBR 10004/2004. Os resíduos bem como as áreas de geração são detalhados abaixo:

**Pátio da madeira:** cascas provenientes do descasque, limpeza de área, baldeio, finos, overs, areia – as cascas são picadas e transformadas em biomassa que seguem para a queima em caldeira. Porém, caso a madeira que entra na fábrica venha com mais cascas, esse material pode se tornar excedente e precisar ser realizado o descarte.

**Linha de fibras:** rejeito de depuração – trata-se dos cavacos não cozidos no digestor e que são posteriormente removidos na depuração, saindo com residual de licor preto.

**Caustificação:** dregs – gerados na clarificação do licor verde e são constituídos de impurezas como cal (CaO), ferrugem, sílica (SiO<sub>2</sub>), sódio (Na) e partículas de combustão incompleta.

Grits – resíduo granulado resultante do processo de calcinação da lama e do calcário nos fornos, constituídos de cal (CaO), carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), sílica (SiO<sub>2</sub>) e óxido de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Lama de cal – formada predominantemente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

**Caldeira de biomassa:** cinzas – ricas em potássio – e areia provenientes da queima de biomassa.

**ETE (Estação de Tratamento de Efluentes):** Lodo primário – gerado no sistema primário do tratamento e constituído em sua maior parte por fibras de celulose. O efluente passa pelos decantadores, adensadores e segue para o desaguamento.

Lodo secundário – gerado no sistema secundário do tratamento de efluentes (planta de lagoas aeradas) e constituído basicamente de células biológicas. Da mesma forma que o lodo primário, também passa por um sistema de adensamento.

**Lodo biológico** – gerado na estação de tratamento de efluentes (planta de lodos ativados), sendo um material orgânico, rico em nitrogênio e fósforo devido dosagem de ureia e ácido fosfórico para a eficiência do tratamento.

Dessa forma, diversos estudos têm sido realizados com o objetivo de buscar soluções alternativas para os resíduos, permitindo o aproveitamento e a diminuição do impacto ambiental (ARRUDA, 2012). Nesse contexto, umas das frentes em destaque é a utilização dos resíduos gerados no processo produtivo de papel e celulose no solo e na área agrícola (MACIEL, 2015).

## 2.4 DESTINAÇÕES ALTERNATIVAS

As indústrias do setor de papel e celulose geram diariamente grandes quantidades de resíduos sólidos devido à crescente produção e a busca por produtos com cada vez mais qualidade, o que tem constituído uma grande preocupação ambiental e econômica (RODRIGUES, 2004). Apesar de ser uma opção para a disposição final destes resíduos, os aterros industriais têm sido cada vez mais indesejados em função dos altos custos para manutenção e implantação, além dos cuidados diários necessários para manuseio (ARRUDA, 2012).

Existem três técnicas principais para tratamento de resíduos sólidos: incineração, redução da toxicidade e disposição no solo, sendo a última dependente de fatores geográficos, geológicos, climáticos e da potencialidade de aproveitamento (ALMEIDA et al., 2007).

A utilização de resíduos modificados na agricultura é uma alternativa que tem se popularizado devido ao objetivo de utilizar o resíduo ao invés de apenas eliminá-lo. Assim, buscando soluções alternativas, o aproveitamento dos mesmos e a redução

do impacto ambiental, muitos trabalhos têm surgido nessa linha de investigação (ANDRADE et al., 2003).

É importante ressaltar a necessidade de estudos simulando possíveis alterações nas plantas e/ou no solo antes de recomendar qualquer tipo de aplicação (ALMEIDA et al., 2008). Avaliando a qualidade do composto orgânico obtido a partir das cascas de madeira e do lodo biológico gerados em uma fábrica de celulose kraft branqueada, as concentrações de metais, os valores de AOX (Halogênios Orgânicos Adsorvíveis), dioxinas e furanos encontrados nas amostras foram inferiores aos limites máximos para uso agrícola propostos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, adotados também no Canadá e na Alemanha. De acordo com esses resultados, não haveria nenhuma restrição para a utilização agrícola do composto produzido (Guerra et al., 2012).

Em se tratando dos resíduos alcalinos gerados no processo, estes possuem nutrientes que são essenciais às plantas e possuem a capacidade de elevar o pH dos solos. Quando comparados aos calcários comerciais, tem preços muito menores e se tornam atrativos aos agricultores por contribuírem para a redução do preço produtivo das lavouras (ARRUDA, 2012).

## 2.5 COMPOSTAGEM E PRODUÇÃO DE FERTILIZANTES

De acordo com Araujo, Cerqueira e Carneiro (2020), para a tecnologia da compostagem a decomposição da matéria orgânica pode ser dividida em anaeróbica e aeróbica. Na anaeróbica, as taxas de oxigênio são nulas ou muito limitadas e o processo ocorre a baixas temperaturas. Já a aeróbica precisa de oxigênio para que a matéria orgânica seja quebrada e produza dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), água ( $\text{H}_2\text{O}$ ) e compostos orgânicos estáveis, liberando calor.

Durante o processo de compostagem a degradação ativa da fração orgânica ocorre por meio de uma população de bactérias e fungos. Na sequência, ocorre a maturação, momento em que o composto perde o cheiro forte característico e passa a ter um odor agradável.

Organismos heterotróficos são aqueles que precisam da matéria orgânica já existente para se desenvolverem. Alguns resíduos já possuem a presença desses organismos, porém em outros é necessária a adição para que se inicie a

decomposição aeróbica e termofílica, caracterizando a compostagem e tendo como produto final o fertilizante orgânico.

No Brasil todos os fertilizantes comercializados devem ser regularizados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), sendo esse o órgão do governo federal responsável pela gestão das políticas públicas de estímulo à agropecuária, pelo fomento do agronegócio e pela regulação e normatização de serviços vinculados ao setor.

Conforme estudado por Santos et al. (2018), a prática da compostagem tem crescido significativamente em todo o mundo, e isso fica evidente na análise do número de publicações sobre o tema na última década. O aumento no número de trabalhos enriquece os estudos e o aparecimento de tecnologias, tornando o processo cada dia mais moderno, viável, rentável e ambientalmente atrativo.

### **3 METODOLOGIA**

Para que uma central de resíduos seja eficiente e tenha uma boa operação, é viável a divisão dos trabalhos em diferentes etapas.

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS**

Para estudar qual o processo de compostagem será utilizado, as matérias-primas precisam ser caracterizadas. Entre os parâmetros a serem analisados, estão nitrogênio (N), superfosfato ( $P_2O_5$ ), Carbono Orgânico Total (COT), Óxido de Potássio ( $K_2O$ ), pH em  $H_2O$ , Arsênio (As), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Cádmiio (Cd), Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e umidade.

#### **3.2 PREPARAÇÃO DA ÁREA DE TRABALHO**

O local onde é realizado o armazenamento e manipulação precisou ser preparado de forma que os resíduos não contaminem o solo e/ou o lençol freático. Dessa forma, houve uma compactação/proteção e canaletas que direcionem o chorume gerado para bombas ou poços onde serão posteriormente retirados.

### 3.3 DISPOSIÇÃO DOS MATERIAIS

Ao saírem do processo os resíduos possuem alta umidade. Por esse motivo é necessário colocá-los em pilhas ou valas, para que a exposição ao tempo proporcione a evaporação da parte líquida e aumente a concentração da parte sólida.

### 3.4 ESTRUTURA DAS PILHAS

Para que as pilhas de resíduos atinjam a consistência almejada é necessário misturar algum estabilizante, sendo mais comumente utilizadas a biomassa de madeira ou as cascas provenientes do descasque de toras.

### 3.5 ADIÇÃO DE QUÍMICOS

Nem sempre a mistura de resíduos terá a dosagem de nutrientes necessários para o objetivo final. Para isso, podem ser adicionadas substâncias como ureia e superfosfato.

### 3.6 FATORES DE INFLUÊNCIA

Para que aconteça a compostagem, a matéria orgânica precisa ser degradada. Alguns fatores influenciam diretamente para que isso ocorra da forma mais eficiente e rápida possível, mantendo a qualidade do produto final, sendo eles: temperatura, aeração, pH, estrutura das pilhas, umidade e relação carbono (C)/nitrogênio (N).

### 3.7 MATURAÇÃO

Na compostagem, a fase de maturação é a última do processo e pode durar até dois meses. Nesse momento ocorre a redução da temperatura e da atividade microbiana, estabilizando o composto e deixando-o com aspecto de produto final.

Um dos pontos determinantes para o início da fase de maturação é a temperatura das pilhas – essa etapa será a responsável por retirar o odor que compostos orgânicos exalam – sendo ideal para o objetivo de patógenos e para a

biodegradação que as medições fiquem na faixa de 65°C. Por outro lado, temperaturas maiores que 70°C podem causar a morte de microrganismos essenciais para a compostagem.

Segundo Castilhos Junior (2006), a relação C/N é o fator que representa o equilíbrio entre os substratos da melhor forma, pois microrganismos precisam do carbono como fonte de energia e do nitrogênio para a síntese de proteínas. Caso a quantidade de nitrogênio seja insuficiente, é possível adicionar ureia ou alguma outra fonte para enriquecer o composto.

#### 4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Após os estudos e caracterização dos resíduos gerados no processo fabril, ficou evidente o potencial que possuíam para que fossem transformados em matéria prima para compostagem. Conforme TABELA 2 foram avaliados os seguintes parâmetros: nitrogênio (N), superfosfato (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), Óxido de Potássio (K<sub>2</sub>O), Carbono Orgânico Total (COT), pH em H<sub>2</sub>O, Arsênio (As), Cromo (Cr), Chumbo (Pb), Cádmio (Cd), Capacidade de Troca de Cátions (CTC) e umidade.

TABELA 2 – Resultados da caracterização dos resíduos

Resíduo	%				pH em H <sub>2</sub> O	mg/kg			mmolc/kg	umidade (%)
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	COT		As e Cr	Pb	Cd	CTC	105°C
Rejeito depuração	0,08	0,87	ND	44,26	9,85	<10	<5	<0,5	248,30	73,10
Cinzas	0,06	3,04	3,96	2,25	12,47	<10	<5	<0,5	ND	0,50
Finos/areia	0,13	0,20	ND	25,84	8,04	<10	<5	<0,5	106,43	76,18
Lodo secundário	0,69	3,48	ND	20,93	7,91	<10	<5	<0,5	355,69	68,43
Lodo biológico	1,49	3,22	0,01	33,11	7,97	<10	<5	<0,5	976,84	87,81
Lodo primário	0,11	0,50	0,02	33,85	7,50	<10	<5	<0,5	263,56	78,93

ELABORAÇÃO: O autor (2021)

Outro ponto de destaque é que as misturas demonstraram boas relações C/N (entre 30 e 40) e excelente ganho de temperatura em pouco tempo (de 29°C para 41°C em apenas um dia). Essa boa evolução é perceptível na própria pilha de misturas de resíduos devido ao aparecimento dos fungos, demonstrando que o processo de degradação da matéria orgânica foi iniciado, conforme FIGURA 3.

FIGURA 3 – Início da degradação da matéria orgânica (kg/tsa)



ELABORAÇÃO: O autor (2021)

Todo o processo de preparação da área tornando-a adequada para compostagem foi concluída, respeitando os aspectos ambientais de cuidados com o solo e água subterrânea. Assim, foi possível no mês de setembro/2021 iniciar a operação e os trabalhos.

No primeiro mês de operação da central para tratamento de resíduos já foi possível evidenciar um ganho imediato na vida útil da célula de aterro, pois foram compostados cerca de 4000 toneladas de resíduos, o equivalente a 40% da geração total da fábrica. Os ganhos são cada vez mais promissores, considerando que o tempo inicial de operação previsto é de 1 ano – com o objetivo de perpetuar continuamente caso os bons resultados se mantenham.

Deve-se considerar que o início de qualquer nova atividade precisa de tempo para se estabilizar, consolidação da operação, e neste caso, testar as receitas que serão desenvolvidas visando o objetivo final de produto, bem como o blend necessário para obtê-lo. Após a fase inicial a tendência é que uma quantidade maior e mais estável de resíduos seja enviada para a central.

Na TABELA 3 estão detalhados os resíduos do processo, a geração média anual e a atual destinação de cada um:

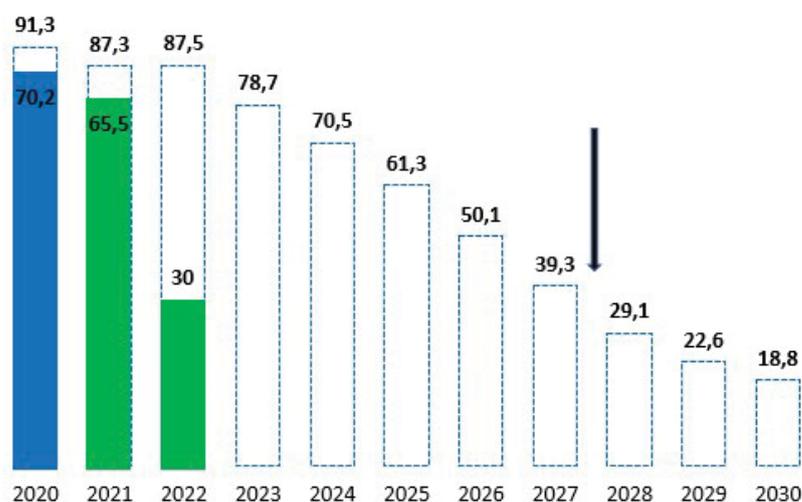
TABELA 3 – Média anual da geração de resíduos

Resíduo	Geração (t)	Destinação
Lodos ETE	37000	Compostagem
Rejeito de depuração	7300	Compostagem
Cinzas caldeira	7800	Compostagem
Finos/areia	2220	Compostagem
Lodo primário	19700	Compostagem
Dregs	48200	Aterro
Grits	5300	Aterro

ELABORAÇÃO: O autor (2021)

Conforme apresentado na FIGURA 4, a previsão é que o envio anual de resíduos para aterro diminua de 65,5 kg/tsa para 30 kg/tsa (considerando tonelada seca ao ar de celulose e papel). Esse número é muito melhor e abaixo do que havia sido projetado pela companhia para o mesmo período. Assim, no ano de 2021 será possível alcançar uma meta que estava prevista apenas para o ano de 2028:

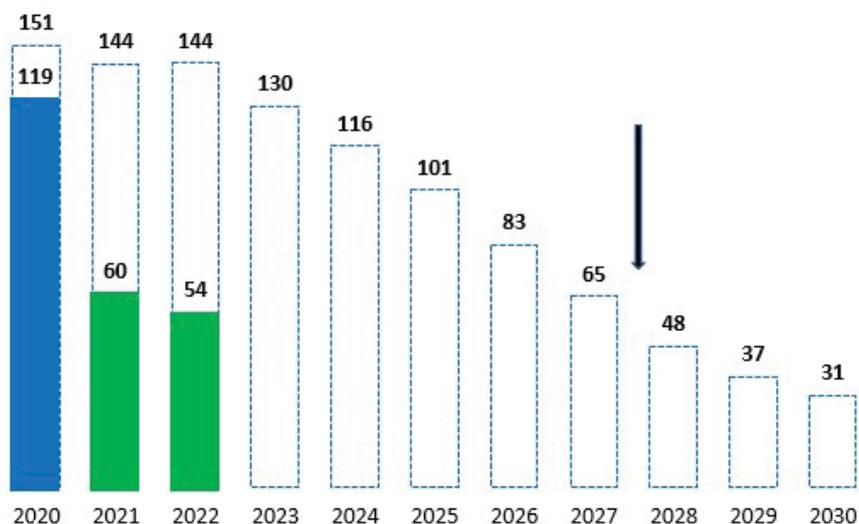
FIGURA 4 – Projeção de envio de resíduos para aterro (kg/tsa)



ELABORAÇÃO: O autor (2021)

Na FIGURA 5 é possível visualizar a mesma projeção, porém com a geração de resíduos detalhada em Mton. Nesse caso, o resultado anual passará de 120.000 ton/ano para 54.000 ton/ano. Na mesma FIGURA 4 considera-se o resultado de 2021 como sendo apenas o do primeiro semestre do ano:

FIGURA 5 – Projeção de envio de resíduos para aterro (Mton)



ELABORAÇÃO: O autor (2021)

Trabalhando com a média dos números apresentados é possível estimar que cerca de 50% dos resíduos industriais gerados diariamente deixarão de ir para o aterro e passarão a ser compostados. Assim, uma célula projetada para dois anos de duração terá a sua vida útil estendida em mais dois, tornando possível utilizá-la durante quatro anos.

Pode-se ponderar que descartar 1m<sup>3</sup> de resíduo custa em média R\$23,77 – estimativa a partir do valor total para a construção de uma célula e do seu espaço útil. Considerando um ano de trabalho da central de compostagem, a economia estimada para a empresa é de R\$ 1.996.680,00 em aterro.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas, a definição que melhor descreve desenvolvimento sustentável é “O desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, garantindo a capacidade de atender as necessidades das gerações futuras. É o desenvolvimento que não esgota os recursos para o futuro.” A atividade de compostar resíduos que anteriormente seriam descartados, está diretamente ligada a esse conceito.

A compostagem é um processo biológico que se resume na utilização de microrganismos para transformar matéria orgânica em compostos que serão utilizados como adubo e retornarão nutrientes para o solo. Esse processo tem dois ganhos expressivos: a redução de custos para a produção de fertilizantes devido a reciclagem de nutrientes e propriedades físico-químicas presentes em alguns resíduos; a redução do volume de material disposto em aterro, aumento assim a vida útil de células e evitando o custo para construções recorrentes.

Os desafios ambientais têm sido cada vez maiores, principalmente para indústrias de grande porte que não conseguem produzir sem gerar resíduos sólidos. Esse é o motivo pelo qual a compostagem está se popularizando no Brasil e no mundo, pois possibilita o equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental. Sendo assim, essa atividade está diretamente alinhada com os princípios de sustentabilidade, ciclo de vida e melhores práticas.

Mesmo estando em fase inicial, o presente trabalho se mostrou eficiente e promissor para as metas da companhia e os compromissos ambientais com o mercado financeiro. As projeções de redução de envio de resíduos para aterro comprovam a efetividade da iniciativa bem como os ganhos econômicos associados a ela.

A transformação de resíduos em matérias primas daqui para frente tornou uma obrigação moral e sustentável para todo e qualquer indústria no Brasil e no mundo. A redução dos custos da construção de novos aterros industriais, as dificuldades de novos licenciamentos para tal e a preocupação com a não contaminação dos lençóis freáticos devem ser a bandeira sustentável de todas as empresas.

## 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A.N. **Desempenho econômico-financeiro de algumas empresas brasileira de celulose e papel.** Pesq. Flor. Bras., Colombo, nº 54, p. 111-118, jan/jun 2007.

ALMEIDA, H. C., ERNANI, P. R., ALBUQUERQUE, J. A., MECABÔC JUNIOR, J., ALMEIDA, D. Influência da adição de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose na lixiviação de cátions em um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p.1775-1784, 2008.

ALMEIDA, H. C., SILVEIRA, C. B., ERNANI, P. R., CAMPOS, M. L., ALMEIDA, D. Composição química de um resíduo alcalino da indústria de papel e celulose (dregs). **Química nova**, São Paulo, v. 30, n. 7, p. 1669-1672, 2007.

ANDRADE, G. C., SILVA, H. D., BELLOTE, A. F. J., FERREIRA, C. A. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 47, p. 43-54, jul./dez., 2003.

ARAUJO, C.C.O., CERQUEIRA, G.S., CARNEIRO, C.E.A., Prospecção Tecnológica para Processos de Compostagem de Resíduos Orgânicos. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v.13, n.4, p. 1177-1187, 2020.

ARRUDA, O.G. **Uso de resíduo da extração de celulose e o impacto em solo de cerrado cultivado com eucalipto e espécie arbórea nativa.** 2012. 101f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Departamento de fitossanidade, engenharia rural e solo, Ilha Solteira (SP), 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10004:** Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 13896:** Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

CASTILHOS JR, A.B. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água:** prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Rio de Janeiro: RiMA, ABES, 2006.

Indústria Brasileira de Árvores: dados estatísticos, 2021. Página inicial.

Disponível em: <https://iba.org/dados-estatisticos>.

Acesso em: 08, agosto 2021.

WWF-Brasil: Desenvolvimento sustentável de acordo com a ONU, 2021. Página inicial.

Disponível em:

[https://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/questoes\\_ambientais/desenvolvimento\\_ustentavel](https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_ustentavel)

Acesso em: 19, set. 2021

GUERRA, M.A.S.L., SILVA, C.M., REZENDE, A.A.P., ROSSONI, H.A., CARVALHO, S.T., MORAIS, I.H.L. Avaliação da utilização de composto orgânico produzido a partir de resíduos de fábrica de celulose quanto aos níveis de organoclorados e metais. **Revista árvore**, Viçosa, v.36, n.2, p.381-387, 2012.

INÁCIO, C. T., MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 156 p.

MACIEL, T.M.S, ALVES, M.C, SILVA, F.C. Atributos químicos da solução e do solo após aplicação de resíduo de extração de celulose. **Revista Brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v.19, n.1, p.84-90, 2015.

OLIVA, F.L., SOBRAL, M.C., TEIXEIRA H.J., GRISI, C.C.H., ALMEIDA, M.I.R. Desenvolvimento sustentável: análise das relações Inter organizacionais na indústria de celulose e papel. **Revista ambiente e sociedade**, São Paulo, v.XV, nº1, p. 71-92, 2012.

PHILIPPI JR, A., ROMÉRIO, M.A., BRUNA, G.C. **Curso de gestão ambiental**. 2 ed.atual.e ampl., Manoele: Barueri, 2014.

RODRIGUES, C.M. **Efeito da aplicação de resíduo da indústria de papel e celulose nos atributos químicos, físicos e biológicos do solo, na nutrição e biomassa do *Pinus taeda* L.** 2004. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SANTOS, J.T., GUIMARÃES, J.C.S, FRANCO, A., CORDEIRO, J., ALVARENGA, C.A., SANTOS, C.I.F., THEREZO, P. Resíduos sólidos orgânicos: uma análise cienciométrica acerca da utilização da compostagem para a geração de adubo. **Research, Society and Development**, Itajubá, v.7, nº 12, p. 01-23, 2018.

SILVA, C.M., MORAIS, I.L.H. **Apostila de controle ambiental na indústria de celulose e papel**. Universidade Federal de Viçosa, 2011.