

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CELI CRISTINA RAMOS DA SILVA

O GERENCIAMENTO DO LODO RESIDUAL NAS INDÚSTRIAS DE CELULOSE E
PAPEL: UMA REVISÃO DE LITERATURA

CURITIBA
2022

CELI CRISTINA RAMOS DA SILVA

**O GERENCIAMENTO DO LODO RESIDUAL NAS INDÚSTRIAS DE CELULOSE E
PAPEL: UMA REVISÃO DE LITERATURA**

Artigo apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, como requisito parcial à conclusão do Curso de Especialização em Gestão Ambiental, Setor de Programa de Educação Continuada em Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Carlos Eduardo Silveira da Silva

**CURITIBA
2022**

O Gerenciamento do Lodo Residual nas Indústrias de Celulose e Papel: Uma Revisão de Literatura

Celi Cristina Ramos da Silva

RESUMO

O Brasil é líder mundial em exportação de celulose, se posicionando entre os dez maiores produtores de papel. Apesar do histórico economicamente promissor, o setor é responsável por gerar considerável quantidade de resíduos, fato que gera constante preocupação com relação ao meio ambiente. Os lodos primário e secundário são resíduos gerados em elevada quantidade pelas indústrias de celulose e papel, sendo comumente encaminhados para aterros industriais. No entanto, além de demandar grande área para seu depósito, o acúmulo desses materiais pode gerar gases de efeito estufa ao longo do tempo. Assim, este trabalho buscou apresentar o panorama atual do gerenciamento do lodo residual quanto ao seu reaproveitamento e tipos de destinação através dos instrumentos publicados pelas empresas do setor. Os resultados indicaram que as empresas estudadas ainda não publicam dados completos sobre o gerenciamento dos lodos residuais em seus relatórios de sustentabilidade ou outros meios de divulgação. Apesar do uso comum pelas empresas para combustão e geração de energia, o lodo residual possui potenciais aplicações em processos de produção de argamassas, etanol, pellets, substratos, entre outros como citados na literatura. Portanto, conclui-se que as empresas devem trazer informações complementares para maior divulgação para a sociedade quanto aos quantitativos, gerenciamento e destinação final destes resíduos.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos; Sustentabilidade; Logística Reversa; Economia Circular.

ABSTRACT

Brazil is the world leader in pulp exports, positioning itself among the ten largest paper producers. Despite the economically promising history, the sector is responsible for generating a considerable amount of waste, a fact that generates constant concern about the environment. Primary and secondary sludge are considered waste generated in large quantities by the pulp and paper industries, and are commonly sent to industrial landfills. However, in addition to demanding a large area for their deposit, the accumulation of these materials can generate greenhouse gases over time. Therefore, this work aims to present the current scenario of residual sludge management regarding its reuse and types of destination through the instruments published by companies in the sector. The results indicated that the studied pulp companies still do not publish complete data on waste sludge management in their sustainability reports or other means of disclosure. Despite the common use by companies for combustion and energy generation, residual sludge has potential applications in the production of mortars, ethanol, pellets, substrates, among others, as mentioned in the literature. Therefore, it is concluded that companies should bring complementary information for greater dissemination to society regarding the quantities, management and final destination of these wastes.

Keywords: Waste Management; Sustainability; Reverse Logistics; Circular Economy.

1. INTRODUÇÃO

A indústria de celulose e papel do Brasil exportou o equivalente a 6 bilhões de dólares no ano de 2020. O país é considerado o maior exportador de celulose do mundo e está posicionado entre os dez maiores produtores de papel (IBÁ, 2021).

De acordo com Silva (2015), o setor industrial é responsável por gerar grande quantidade de resíduos líquidos ou sólidos, sendo necessário o enquadramento dessas indústrias no âmbito da sustentabilidade. Por isso, as legislações ambientais estão cada vez mais taxativas em relação aos parâmetros sobre o correto tratamento e disposição final desses resíduos.

Desta maneira, o gerenciamento de resíduos torna-se uma ferramenta importante para que as empresas realizem uma gestão ambiental efetiva, abrangendo a elaboração de ações, políticas e planos de gerenciamentos integrados, objetivando reduzir o volume de geração, maximizar o aproveitamento, reciclagem, além de trazer soluções mais eficazes para tratamento e destinação final (NOLASCO & ULIANA, 2014).

Segundo o relatório de sustentabilidade da Celulose Nipo-Brasileira S/A (Cenibra, 2020), foram gerados em média 136 kg/tsa (quilograma por tonelada de celulose seca ao ar) de resíduos sólidos no ano de 2019, ocorrendo redução na geração de resíduo em comparação a 2018 (241 kg/tsa). Em contrapartida, houve aumento significativo dos resíduos não perigosos encaminhados ao aterro sanitário.

Dentre os resíduos sólidos gerados pela indústria de celulose e papel, destacam-se os lodos primário e secundário. Os lodos são definidos em geral como materiais de aspecto homogêneos, úmidos e pastosos que apresentam coloração escura e odor específico, sendo ricos em matéria orgânica e água (FOELKEL, 2010).

A partir de suas características físico-químicas, os lodos são classificados como resíduos “não perigosos” de classe II-A (não inertes). Portanto, é necessário que se realize um tratamento adequado para sua disposição final (GUAITOLINI, 2014).

Uma planta industrial de celulose e papel pode gerar aproximadamente em média 70.000 toneladas/ano de lodos residuais (ELDORADO, 2021). No caso específico desses resíduos, a disposição final mais comum são os aterros industriais, necessitando de uma grande área para acomodação desta elevada quantidade de resíduo.

A disposição dos lodos nos aterros gera o biogás, resultante da decomposição anaeróbica dos materiais orgânicos. Conforme Silva (2015) e Alves (2020), o biogás é composto de uma mistura do gás hidrogênio (H_2) e dos gases causadores de efeito estufa como o metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), e o sulfeto de hidrogênio (H_2S).

A partir disso, afirma-se que o biogás gerado nos aterros sanitários não pode ser descartado diretamente na atmosfera devido ao seu elevado teor de metano e seu alto potencial danoso, sendo indispensável a adoção de medidas que diminuam os impactos ocasionado por esse componente (MAGALHÃES, 2018; ALVES 2020). Contudo, existem poucos empreendimentos no Brasil que utilizam biogás como fonte de combustível (GUEDES, 2017).

O crescimento da produção de celulose no Brasil tem impulsionado a realização de pesquisas que abordem a disposição adequada e o aproveitamento dos resíduos gerados no setor (MARQUES *et al.*, 2014).

De acordo com Ferreira (2011), se faz necessário a apresentação das informações operacionais das empresas, com a função de prestar contas à sociedade de como o meio ambiente está sendo afetado por sua gestão ambiental.

Com estas informações expostas, surgem questionamentos em relação a atuação das empresas de celulose e papel frente ao tratamento dos lodos residuais e de como divulgam essas tratativas para a sociedade.

Perante o exposto, este trabalho buscou apresentar o panorama atual do gerenciamento do lodo residual nas indústrias de celulose e papel quanto ao seu reaproveitamento e tipos de destinação, além de apresentar outros tipos de aplicação dos lodos primário e secundário em trabalhos científicos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura apresenta a definição de resíduos sólidos, suas classificações, outros conceitos e legislações acerca do assunto, os tipos de resíduos gerados na fabricação de celulose e papel, características do lodo residual do processo Kraft e as questões inerentes a sustentabilidade e a logística reversa no Brasil.

2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS

De acordo com a NBR 10004 (2004), os resíduos sólidos são definidos como aqueles resultantes das atividades industriais, domésticas, hospitalares, comerciais, agrícolas, de serviços e de varrição. Também podem ser incluídos os lodos oriundos do tratamento de água, originados das estações de tratamento (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2004). De acordo com a mesma norma, os resíduos podem ser classificados da seguinte forma:

- Perigosos (classe I): são os resíduos que apresentam periculosidade (corrosividade, inflamabilidade, patogenicidade, reatividade e toxicidade), oferecendo risco ao meio ambiente e risco à saúde pública;
- Não inertes (classe II A): são resíduos que não apresentam periculosidade, mas podem conter alguma propriedade biodegradável, combustível e/ou solúvel em água;
- Inertes (classe II B): de acordo com a NBR 10006 (2004) e a NBR 10007 (2004), são os resíduos que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada à temperatura ambiente, e/ou quando amostrados de uma forma representativa, não apresentarem nenhum de seus componentes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, dureza, sabor e turbidez.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), criada através da Lei No. 12.305 de 2010, define resíduo sólido como: *“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”* (BRASIL, 2010).

A PNRS responsabiliza as indústrias, cabendo aos geradores a iniciativa de adotar técnicas para coletar, armazenar, reutilizar ou efetuar destinação final

adequada dos seus resíduos sólidos; promover meios de fluxo de retorno dos resíduos junto à sua rede de comercialização; propor aos consumidores que reutilizem e tratem os resíduos, informando sobre possíveis danos ambientais; promover educação ambiental com o propósito de combater práticas inadequadas (BRASIL, 2010).

A temática da gestão de resíduos sólidos ainda é um desafio para a sociedade, em especial para o setor público devido ao crescimento da população, do consumo e da geração de resíduos. No entanto, o setor privado, especificamente as indústrias, também possuem grande responsabilidade nesta questão, devido aos seus processos produtivos serem gerados de resíduos sólidos em larga escala. Os serviços públicos e privados vêm passando por mudanças para se adequar a PNRS, como por exemplo, deixando de depositar resíduos a céu aberto ou enterrados (MMA, 2007; LIMA, 2017).

Os resíduos participam efetivamente dos custos fixos da empresa, onde exigem gastos com armazenamento, tratamento, transporte e destinação adequada. O gerenciamento ineficaz dos resíduos pode acarretar em danos irreversíveis ao meio ambiente, e ainda promover prejuízo financeiro através de multas à instituição, bem como prejudicar sua imagem corporativa, trazendo restrições para futuros investimentos e financiamentos (NOLASCO & ULIANA, 2014).

Segundo o Art. 9º da Lei nº 12305 (2010), a ordem de prioridade para gestão e gerenciamento de resíduos sólidos está apresentada na FIGURA 1.

FIGURA 1 - ORDEM DE PRIORIDADE PARA A GESTÃO E GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.



FONTE: Adaptada de Brasil (2010).

2.2. RESÍDUOS GERADOS NA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

O processo químico Kraft é o mais utilizado para produção de polpa celulósica no mundo. O método apresenta vantagens como: fabricação de polpa com alta resistência mecânica; utilização de matéria-prima diversificada; sistema de recuperação química; aproveitamento do licor de cozimento para geração de vapor; e o material inorgânico é convertido em produtos como carbonato de sódio e sulfeto de sódio (FOELKEL, 2009; MARTINS, 2011).

Apesar do cenário ser promissor, existe uma grande preocupação com a questão da alta quantidade de resíduos gerados pelo setor. Em média, pode-se produzir até 800 quilogramas (kg) de resíduos sólidos por tonelada (t) de produto ou

aproximadamente 48t para cada 100t de celulose produzida (BELLOTE *et al.*, 2003; GUERRA, 2007).

Os resíduos sólidos mais comuns gerados no processo produtivo de celulose e papel são as cascas das árvores, os lodos primário e secundário, dregs, grits e lama de carbonato, as areias e cinzas das caldeiras de biomassa (GUERRA, 2007; IZIDIO, *et al.*, 2014).

2.3. LODO RESIDUAL

De acordo com Foelkel (2010) a quantidade de lodo residual gerado pode ser de 10 a 400 kgs secos por tonelada de celulose e papel produzidos. O lodo primário é produzido na primeira etapa do tratamento de efluentes, que consiste na retirada dos sólidos suspensos (areia, cargas minerais, fibras de celulose, serragem, partículas de casca) por decantação, formando um lodo organomineral com elevada umidade, sendo assim, não é considerado um lodo biológico.

O lodo secundário ou também denominado biológico, é formado nas próximas etapas de tratamento, através de processos biológicos, onde microrganismos especializados se alimentam dos compostos orgânicos que se encontram nos efluentes. Assim, os organismos recebem energia e se incorporam ao carbono do composto orgânico, formando novas células, que serão separadas por centrifugação, decantação, filtração ou alguma outra técnica para separação de líquidos e sólidos (FOELKEL, 2010).

O lodo primário é composto por 60% de calcita, caulinita, celulose, sendo rico em carbono e nitrogênio. Já o lodo biológico é um material abundante em nitrogênio em sua composição. O resíduo apresenta menor quantidade de lignina em sua composição e maior aptidão à hidrólise, por isso, o uso deste tipo de resíduo é mais vantajoso em relação a outros tipos de resíduos (Vigil de La Villa *et al.*, 2007; PEREIRA, 2010; FÜHR *et al.*, 2019).

Usualmente, as fábricas de celulose e papel fazem a disposição final de seus lodos em aterros industriais. Dependendo do tamanho da fábrica e de seu planejamento de produção, diariamente, podem ser gerados pelo menos 21t de lodo biológico. Com isso, se torna necessário que haja vastas áreas para que esses depósitos sejam realizados, além de gerar custos econômicos para essas instituições e danos ambientais (BELLOTE *et al.*, 2003; GUERRA, 2007; IZIDIO *et al.*, 2014; KUNZ, 2014).

Contudo, essa alternativa pode gerar grandes passivos ambientais, devido a geração de CH₄ (gás metano), CO₂ (dióxido de carbono) e H₂S (sulfeto de hidrogênio), contribuindo com o efeito estufa e problemas de odor no ar. Além disso, considera-se uma opção economicamente inviável, onde se exigem altos custos para implantação, manutenção, e necessidade de manejos específicos, para que não ocorra contaminação do ar, do solo e das águas subterrâneas (BELLOTE *et al.*, 2003; KUNZ, 2014).

2.4. SUSTENTABILIDADE E LOGÍSTICA REVERSA

De acordo com o Relatório Brundtland (1987), a sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável consiste na realização de práticas que buscam satisfazer as necessidades da geração presente sem comprometer as necessidades das próximas gerações. Sendo assim, um dos princípios básicos de sustentabilidade

é a visão à longo prazo, onde são analisados e considerados os interesses das gerações futuras (WCED, 1987; CLARO *et al.*, 2008).

O tripé do desenvolvimento sustentável é composto pelas dimensões de economia, meio ambiente e sociedade (SOUZA, 2016).

Ao longo dos anos, outras abordagens como eficiência ambiental, reaproveitamento, reciclagem, reutilização, remanufatura de materiais e disposição final adequada de resíduos foram inseridas na temática da sustentabilidade. A logística reversa, por sua vez, é um conceito que engloba todas essas abordagens, onde no início dos ciclos produtivos visam a conservação do meio ambiente, e no final, permitem a manutenção do sistema econômico e o bem-estar da sociedade (MOTTA, 2013; COLOSSI & BAUERMANN, 2021).

O desenvolvimento sustentável depende da adaptação da nossa economia atual, levando em consideração que esse processo de transição para uma economia verde tem importante papel em orientar o setor público e o privado para alcançar os objetivos da sustentabilidade. A economia verde tem o propósito de trazer a igualdade social; o bem-estar para humanidade; diminuir a escassez ecológica e os danos ao meio ambiente. Além de reduzir as emissões de carbono e o uso dos recursos naturais (PNUMA, 2011; GARCIA, 2012).

A PNRS define que a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos é um *"conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei"* (BRASIL, 2010).

A logística reversa pode ser definida como um *"instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada"* (BRASIL, 2010).

Desta maneira, a logística reversa é um instrumento introduzido pela PNRS que pode contribuir para a aplicação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. O Decreto nº 7.404/2010 estabelece que os sistemas de logística reversa serão aplicados por meio de outros instrumentos, sendo estes: os regulamentos expedidos pelo poder público, os acordos setoriais e os termos de compromisso (MMA, 2021).

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho consistiu na realização de uma pesquisa descritiva e documental, onde foram coletados dados na literatura. O levantamento bibliográfico foi realizado em artigos, revistas científicas, livros, trabalhos acadêmicos e relatórios anuais de empresas do setor de celulose e papel. Os parâmetros para levantamento dos dados foram baseados nos seguintes critérios:

- a base de dados pesquisados engloba o período entre os anos 2000 e 2021, buscando apresentar a evolução sobre a temática e processo produtivo envolvendo a geração de lodo residual;
- a verificação da disponibilidade de dados publicados em relatórios anuais dos últimos três anos (2018, 2019 e 2020) das três empresas nacionais

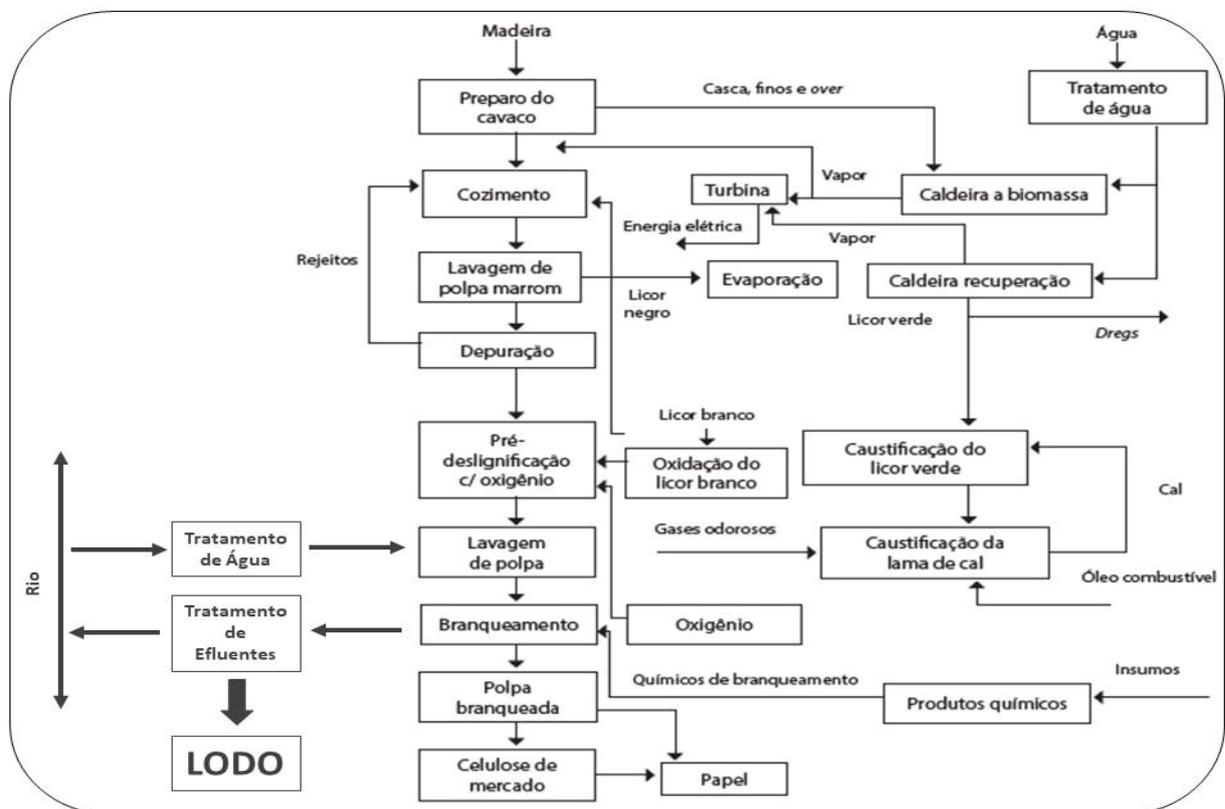
(Suzano Papel e Celulose, Klabin S/A e Eldorado Brasil) com maior faturamento no segmento no ano de 2019 (FORBES, 2020).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSO KRAFT PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL

A maior parte das indústrias utilizam o processo Kraft na produção de celulose, e realizam as seguintes etapas: descascamento, picagem de cavacos, cozimento, depuração, lavagem, branqueamento e secagem (CORREIA, 2010). A FIGURA 2 apresenta o processo Kraft de forma simplificada:

FIGURA 2. PROCESSO KRAFT PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE E PAPEL.



FONTE: Adaptada de Alves *et al.* (2014).

Como apresentado na FIGURA 2, os lodos primário e secundário, são originados no processo Kraft a partir da etapa de branqueamento da polpa celulósica, onde água da lavagem da polpa e os resíduos celulósicos são levados para a Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Em seguida, os sólidos suspensos são retirados formando o lodo primário, logo após, o lodo secundário será formado através do tratamento biológico com microrganismos.

4.2. O GERENCIAMENTO DO LODO RESIDUAL NAS EMPRESAS DO SETOR DE CELULOSE E PAPEL

4.2.1. Empresa 1: Suzano Papel e Celulose

Atualmente, a empresa possui dez unidades industriais no Brasil (Suzano, Rio Verde, Limeira, Jacareí, Mucuri, Fortaleza, Aracruz, Imperatriz, Três Lagoas e Belém) presentes em sete estados do território nacional.

4.2.1.1. Panorama da geração, gestão, aproveitamento e destinação dos lodos residuais publicados em relatórios de sustentabilidade da empresa Suzano Papel e Celulose

As informações divulgadas pela empresa Suzano Papel e Celulose em relatórios de sustentabilidade dos de 2018, 2019 e 2020 estão apresentadas no QUADRO 1.

QUADRO 1. INFORMAÇÕES ENCONTRADAS NOS RELATÓRIOS DE SUSTENTABILIDADE DOS ANOS 2018, 2019 E 2020 DA EMPRESA SUZANO PAPEL E CELULOSE.

Informações Publicadas	2018	2019	2020
Quantidade de lodos gerados (t)	Não	Não	Não
Redução da geração do lodo em relação ao ano anterior	**Parcial	Não	Não
Padronização das informações	Não	Não	Não
Novas tecnologias incorporadas para tratamento	**Parcial	Não	Não
Destinação para aterros	**Parcial	Não	Não
Reaproveitamento	**Parcial	Não	Não

*Integral: informações publicadas considerando todas as unidades do Brasil.

**Parcial: informações publicadas considerando uma unidade em específico.

FONTE: Autoria própria (2022).

Segundo o Relatório de Sustentabilidade de 2018 da empresa (Suzano, 2019):

- Não foram apresentados dados em relação a quantidade de lodo enviada aos aterros e dos lodos aproveitados em outros processos ou vendidos para a maior parte das unidades, exceto para unidade de Suzano (SP), onde apresentou somente a quantidade destinada para a reciclagem do lodo primário;
- Houve redução expressiva na geração de lodo biológico (secundário) de 22.886 toneladas em relação a 2017. No entanto, o relatório não apresenta a quantidade de lodos totais gerados em 2018, sendo essas informações referentes apenas ao lodo secundário da unidade de Jacareí (SP);
- A redução na geração do resíduo foi explicada pela instalação do secador de lodo biológico na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE), também possibilitando e o aproveitamento energético do lodo seco na caldeira de biomassa;

- A partir da implementação da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) na unidade de Mucuri, houve redução da carga orgânica lançada no rio Mucuri, com a utilização da tecnologia de lodos ativados;
- A operação da mencionada ETE na unidade permitiu uma geração 23% menor de lodo ao final do tratamento;
- Em 2018 a unidade de Três Lagoas (MS) teve o menor resultado de envio de resíduos para aterro, com redução de 23%. A média ponderada das duas linhas de produção apresentou um resultado de 16 kg/tsa, com diminuição de 20% em relação a 2017;
- A unidade Três Lagoas também realizou a maior venda de lodo primário e queima de lodo biológico e misto, além do reaproveitamento de areia gerada na cobertura do aterro sanitário e aproveitamento da lama de cal como subproduto industrial e agrícola;
- A geração de resíduos foi reduzida em 16% e houve aumento de 5% no percentual de reciclagem na unidade de Aracruz (ES). Esses percentuais obtidos são explicados pela redução em 35% da geração do lodo primário e a diminuição de 60% na geração de lama e cal;
- A unidade Suzano (SP) aumentou em 66% a destinação de lodo primário reutilizado como fibra (reciclagem externa), reciclando 33.388 toneladas em 2018;
- Em 2018, a unidade Rio Verde (SP) reciclou 95% do lodo primário gerado como fibra (reciclagem externa), promovendo a substituição de outros tipos de destinação final;
- Os relatórios de 2019 e 2020 da empresa não apresentaram informações sobre geração, gestão, aproveitamento e destinação dos lodos.

4.2.1.2. Gestão de resíduos sólidos em geral

No relatório de 2018, a empresa aborda a existência de um Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, porém não apresentou informações detalhadas sobre o assunto, e não foi encontrado acesso para uma central de indicadores específicos. Também foram publicadas as quantidades de resíduos gerados (kg/tsa) e encaminhados ao aterro industrial (kt/mês) de algumas unidades.

No relatório de 2019, os programas de gerenciamento de resíduos sólidos são abordados, contudo, não foram apresentados dados quantitativos na publicação. Um exemplo dessa abordagem, seria o programa “Virada Ambiental” da unidade Três Lagoas (MS), que consiste em uma central de beneficiamento de resíduos sólidos, permitindo a produção de corretivo de solo e fertilizantes através do beneficiamento de resíduos.

Os relatórios dos anos de 2019 e 2020 possuem endereços eletrônicos que encaminham o leitor para uma central de indicativos digital da empresa, sendo possível pesquisar dados sobre a gestão de resíduos sólidos nas operações industriais de todas as unidades.

4.2.2. Empresa 2: Klabin S/A

A Klabin possui atualmente 24 unidades industriais espalhadas pelo território nacional, em dez estados, e uma na Argentina.

4.2.2.1. Panorama da geração, gestão, aproveitamento e destinação dos lodos residuais publicados em relatórios de sustentabilidade da empresa Klabin S/A

O QUADRO 2 apresenta as informações divulgadas pela empresa Klabin S/A em relatórios de sustentabilidade dos anos de 2018, 2019 e 2020.

QUADRO 2. INFORMAÇÕES ENCONTRADAS NOS RELATÓRIOS DE SUSTENTABILIDADE DOS ANOS 2018, 2019 E 2020 DA EMPRESA KLABIN S/A.

Informações Publicadas	2018	2019	2020
Quantidade de lodos gerados (t)	Não	Não	Não
Redução da geração do lodo em relação ao ano anterior	Não	Não	Não
Padronização das informações	Não	Não	Não
Novas tecnologias incorporadas para tratamento	Não	Não	Não
Destinação para aterros	Não	Não	Não
Reaproveitamento	Não	Não	Não

*Integral: informações publicadas considerando todas as unidades do Brasil.

**Parcial: informações publicadas considerando uma unidade em específico.

FONTE: Autoria própria (2022).

Nos relatórios dos três anos selecionados (2018, 2019 e 2020) pela empresa, não foram encontradas informações sobre geração, gestão, aproveitamento e destinação dos lodos. A empresa faz sua tratativa para o lodo e os demais resíduos apenas como “resíduos sólidos não perigosos”.

4.2.2.2. Gestão de resíduos sólidos em geral

Os relatórios dos anos de 2018 e 2019, apresentaram tabelas com dados compilados sobre a “disposição de resíduos sólidos perigoso e não-perigosos (em toneladas)”, contendo as quantidades de destinação, reutilização, reciclagem, compostagem, aterro classe II-A, entre outras destinações.

Todos os relatórios de sustentabilidade selecionados, apresentam painel ASG (Ambiental, Social e Governança) em seus respectivos endereços eletrônicos. As abordagens referentes aos resíduos sólidos são realizadas de maneira padronizada pelas “Global Reporting Initiative” (GRIs): 103-1; 103-2; 103-3; 306-1; 306-2; 306-3; 306-4. Contudo, em cada ano avaliado o painel foi apresentado de formas distinta, dificultando o acesso à informação.

4.2.3. Empresa 3: Eldorado Brasil

A unidade industrial da companhia fica localizada em Três Lagoas (MS), e a planta possui capacidade produtiva de 1,8 milhão de toneladas de celulose/ano.

4.2.3.1. Panorama da geração, gestão, aproveitamento e destinação dos lodos residuais, publicados em relatórios de sustentabilidade da empresa Eldorado Brasil

O QUADRO 3 apresenta as informações divulgadas pela empresa Suzano Papel e Celulose em relatórios da sustentabilidade dos de 2018, 2019 e 2020.

QUADRO 3. INFORMAÇÕES ENCONTRADAS NOS RELATÓRIOS DE SUSTENTABILIDADE DOS ANOS 2018, 2019 E 2020 DA EMPRESA ELDORADO BRASIL.

Informações Publicadas	2018	2019	2020
Quantidade de lodos gerados (t)	Não	Não	*Integral
Redução da geração do lodo em relação ao ano anterior	Não	Não	*Não / Integral
Padronização das informações	Não	Não	Sim
Novas tecnologias incorporadas para tratamento	Não	Não	Não
Destinação para aterros	Não	Não	*Integral
Reaproveitamento	Não	Não	Não

*Integral: informações publicadas considerando todas as unidades do Brasil.

**Parcial: informações publicadas considerando uma unidade em específico.

*Não/Integral: não houve redução da geração do lodo.

FONTE: Autoria própria (2022).

Os relatórios dos anos de 2018 e 2019, não apresentaram dados sobre o gerenciamento dos lodos residuais, citando somente que o lodo secundário foi utilizado para queima em caldeira e geração de energia.

O Relatório de Sustentabilidade da empresa do ano de 2020, trouxe informações sobre o gerenciamento do lodo na tabela onde se encontram os valores para o total de resíduos industriais gerados por categoria (t) e o total de resíduos destinados para disposição final, por composição em toneladas métricas (T). Estes dados estão apresentados no QUADRO 4.

QUADRO 4. INFORMAÇÕES ENCONTRADAS SOBRE GERAÇÃO E DESTINAÇÃO DOS LODOS PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO DA EMPRESA ELDORADO BRASIL.

Total de resíduos gerados, por composição (T)	2018	2019	2020
Lodo primário	---	---	702,51
Lodo biológico (secundário)	52.652,17	57.378,21	59.365,69
Total de resíduos destinados para disposição final, por composição em toneladas métricas (T)	2018	2019	2020
Lodo primário	---	---	702,51
Lodo biológico (secundário)	52.652,17	57.378,21	59.365,69

FONTE: A autoria própria (2022).

De acordo com os valores publicados do relatório do ano de 2020 (QUADRO 4), não houve aproveitamento dos lodos dentro da organização ou por outras instituições.

4.2.3.2. Gestão de resíduos em geral

De acordo com os relatórios da empresa, a gestão dos resíduos sólidos na Eldorado Brasil segue as diretrizes previstas na Política Nacional de Resíduos Sólidos e no Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS).

As informações referentes a todos os resíduos gerados (perigosos e não perigosos) e suas destinações, são encontradas em todos os relatórios. No entanto, ainda não há uma padronização da publicação destes dados entre os documentos. Sendo o relatório de 2020 o mais completo em relação ao detalhamento de informações, tendo em vista que as quantidades de cada resíduo foram devidamente descritas.

4.3. Tecnologias desenvolvidas para reutilização dos lodos celulósicos

Esta seção apresenta alternativas e potenciais usos de lodos residuais como matéria-prima para o desenvolvimento de bioprodutos e biomateriais evitando o descarte do mesmo.

No estudo realizado por Rodrigues *et al.* (2021), o lodo primário foi utilizado na confecção de pellets (material densificado) para combustão e geração de energia, sem adição de qualquer outro material. Obteve-se a formação de pellets padronizados, com grande desempenho de secagem em comparação com o próprio lodo, alta densidade energética e durabilidade mecânica (99,3%), e baixo teor de finos (0,062%).

As características físico-químicas apresentadas pelos pellets são adequadas para seu uso energético, além de atender os critérios do padrão europeu (exceto para a densidade aparente).

O lodo residual também pode ser usado em processos de compostagem e convertido em substratos. Uma empresa do grupo CMPC, produziu o substrato “humosolo”, um composto orgânico para ser utilizado como fertilizante, todavia não se trata somente de um subproduto, mas sim de uma oportunidade para utilizar a economia circular na prática (SANTI, 2020).

De acordo com Simonete *et al.* (2019), o lodo compostado e misturado ao composto fertilizante NPK, apresentou grande potencial para ser utilizado como substrato orgânico e fonte de nutrientes na produção da cultura de alface, e obteve um efeito semelhante à adubação mineral convencional (calcário + NPK), possibilitando a substituição ou diminuição no uso dos fertilizantes minerais convencionais.

O estudo de Carreiro *et al.* (2018) foram analisados aspectos mercadológicos e técnicos da produção do etanol como combustível para frota de veículos a partir de lodos celulósicos. Foi avaliada a demanda de etanol para cinco anos, confrontando com os dados de oferta de etanol de cana-de-açúcar e do etanol de lodo com os dados de demanda de combustível.

Os autores citaram as vantagens da produção de etanol com lodo, sendo estas: o aproveitamento de um resíduo abundante e que demanda custos elevados para sua disposição adequada; e o fato de não ser necessário um pré-tratamento para a remoção da lignina (material resultante do processo de polpação). Além do mais, o lodo tem o potencial para produzir em média de 129 L de etanol por tonelada de lodo (ZANONI *et al.*, 2015).

A análise do estudo de Carreiro *et al.* (2018) indicou que ao se projetar uma oferta de etanol de lodo à oferta de etanol de cana, a demanda de combustível para os próximos cinco anos ainda será superior à oferta. Este fato decorre de dois fatores: o efeito da substituição parcial da gasolina pelo álcool, por uso direto ou mistura; e o aumento da produção de etanol obtidos da cana.

Segundo os autores, do ponto de vista mercadológico, é viável a produção de etanol a partir de lodos de indústrias de papel e celulose. Os autores também ressaltaram que existe necessidade de novos estudos para comprovar a viabilidade econômico-financeira da produção utilizando o lodo residual e os passivos ambientais que poderão ser acarretados a partir disto (CARREIRO *et al.*, 2018).

Nos trabalhos de Guaitolini (2014) e Almeida (2019), os lodos celulósicos de duas empresas do setor brasileiro foram utilizados para a queima em caldeira de leito fluidizado borbulhante. Em ambos experimentos, o lodo foi misturado com biomassa de madeira com o propósito de minimizar os custos, e quantidade de resíduos enviados para aterro industrial.

Segundo Almeida (2019), durante o período do experimento (12 meses), foi possível notar que: houve redução de 10,5 para 6,2% na destinação do lodo para aterro; o volume de lodo incorporado à mistura do biocombustível total passou de 21 para 42%; a quantidade de vapor produzido aumentou de 3,6 para 3,8 toneladas por tonelada de biocombustível consumido.

No último trimestre do estudo, notou-se que 94,2% do volume de lodo residual foi destinado para queima na caldeira, possibilitando o aumento da vida útil de um aterro industrial de 2,3 para 14,6 anos. Sendo assim, a empresa obteve uma economia significativa com destinação dos lodos para combustível (ALMEIDA, 2019).

A partir destes estudos, foi possível comprovar que o aproveitamento dos lodos residuais para queima em caldeira é tecnicamente e ambientalmente viável, sendo uma prática atrativa às indústrias do setor, reduzindo a ocupação em aterros, os impactos ambientais e os custos com este tipo de passivo (GUAITOLINI, 2014; ALMEIDA, 2019).

Azevedo *et al.* (2017), utilizaram o lodo na produção de argamassa para placas cimentícias, estas podem ser utilizadas como forros ou revestimentos de parede. Foram confeccionadas placas à base de cimento e cal hidratada com um traço de 1:1:6 (cimento: cal: areia), sendo o resíduo incorporado na massa de cal, nas

proporções de 5%, 10% e 15%. Os autores confirmaram que todos os parâmetros avaliados (absorção de água, índices de vazios, densidade de massa aparente, resistência à tração na flexão e resistência à compressão axial) estão em faixas admitidas pela literatura, podendo-se utilizar as placas cimentícias como forros de edificações.

Todavia, a incorporação de lodo celulósico indicada é de até 10% do resíduo na mistura. Para a argamassa armada, é necessário estudos que avaliem a elevada absorção de água e o beneficiamento do material, para que não seja afetada a durabilidade do compósito (AZEVEDO *et al.*, 2017).

Pelisser *et al.* (2016), usaram o lodo como substituto parcial do agregado miúdo na argamassa, onde a areia natural foi substituída por porcentagens diferentes (5%, 10% e 20%) desse resíduo.

Os resultados mostraram que a mistura com 20% de substituição do agregado, apresentou resistência inferior à argamassa de referência, esse comportamento pode ser explicado pelo excesso de vazios causado por este percentual de resíduo. Contudo, as misturas que substituíram 5 e 10% de agregados naturais obtiveram resistência superior em relação à mistura de referência, além de resultar em argamassas mais leves (PELISSER *et al.*, 2016).

Desta maneira, a utilização de baixos percentuais do lodo de papel e celulose em argamassa, são indicados por não oferecerem prejuízos à compressão e à tração na flexão e reduzirem de forma significativa o uso do recurso natural (PELISSER *et al.*, 2016).

No trabalho de Pinheiro (2008), foi caracterizada e avaliada a incorporação do lodo oriundo da indústria de papel reciclado sobre as propriedades físicas, mecânicas e na microestrutura da cerâmica vermelha, revelando uma quantidade máxima ideal de resíduo a ser incorporado na mistura.

De acordo com a autora, os resultados indicaram que a presença predominante de celulose no lodo contribuiu para que houvesse redução no consumo de combustível durante a etapa de queima. Os blocos de vedação com o lodo se apresentaram resistentes à compressão, atendendo a norma, porém, a absorção de água foi superior ao limite máximo estabelecido.

Assim, o estudo sugeriu que a quantidade ideal de resíduo a ser incorporação é de 5 % em peso, evitando que haja aumento demasiado da porosidade da cerâmica, esse percentual foi o suficiente para reduzir o gasto energético em 20,34 % e destinar uma parte do lodo de maneira ambientalmente correta (PINHEIRO, 2008).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados, pode-se concluir que ainda é necessária uma evolução em relação ao gerenciamento dos resíduos sólidos sobre os conceitos descritos na PNRS, e que o uso de ferramentas como a aplicação da logística reversa ainda não é significativa e/ou bem descrita pelas empresas.

A maior parte das empresas avaliadas neste estudo não apresentaram dados completos sobre o gerenciamento dos lodos residuais em seus relatórios de sustentabilidade ou outros meios de publicação. Além do mais, destaca-se o fato de que não existe uma apresentação destas informações de forma padronizada nos relatórios de uma mesma empresa.

Baseado no documento mais detalhado estudado (Relatório de Sustentabilidade 2020 da empresa Eldorado Brasil) relacionado ao gerenciamento dos lodos residuais e de outros tipos de resíduos sólidos, pode-se afirmar que existe

uma escassez e necessidade de padronização de informações que podem ser importantes para compreensão do processo de gestão dos resíduos.

O estudo revelou que existem diversas formas de se incorporar os lodos residuais da indústria de celulose e papel em outros processos produtivos. Atualmente, a matéria-prima “lodo” é muito utilizada pelas indústrias do setor para queima e geração de energia. No entanto, apesar dos potenciais usos, o resíduo lodo ainda não possui significativa aplicação. Infere-se a necessidade de mais pesquisas sobre os múltiplos e potenciais usos destes resíduos, e estudos de caso que tenham como resultado uma proposta para reduzir estas problemáticas.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. F. M. **Análise exergoeconômica e exergoambiental de um sistema de trigeriação usando gás natural e extensão para o uso do biogás de aterro sanitário**. 2020. Tese (Doutorado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2020.

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

AZEVEDO A. R. G.; ALEXANDRE, J.; PETRUCCI, L. J. T.; PRELLWITZ, M. F.; SANTOS, D. P.; MARVILA, M. T.; CERQUEIRA, N. A.; MONTEIRO, S. N.; FRANÇA, B. R.; XAVIER, G. C.; SOUZA, V. B. **Avaliação de propriedades de argamassas no estado endurecido para produção de placas cimentícias com adição de resíduo da produção de papel**, In: Anais do 61º Congresso Brasileiro de Cerâmica. 2017.

BRASIL. Lei Nº. 12.305, Política Nacional de Resíduos Sólidos, de 2 de agosto de 2010.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A.; ANDRADE, G. C. 2003. **Utilização de resíduo da produção de celulose**. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=460&subject=E>. Acesso em 12 ago. 2021.

CARREIRO, F. B.; ZANONI, P. R. S.; LIMA, E. A., FONSECA, J. W. F. Estudo de mercado da produção de etanol a partir de lodo celulósico gerado em indústrias de papel e celulose. In: **Embrapa Florestas - Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOMASSA, 3., 2018, Curitiba. Trabalhos técnicos & científicos. Curitiba: FIEP, 2018., 2018.

CENIBRA – CELULOSE NIPO-BRASILEIRA S/A. Relatório de Sustentabilidade 2019. Disponível em: <https://www.cenibra.com.br/wp-content/uploads/2020/06/RS-2019-PORT.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2021.

CLARO, P. B. O.; CLARO, D. P.; AMÂNCIO, R. Entendendo o conceito de sustentabilidade nas organizações. **Revista de Administração-RAUSP**, v. 43, n. 4, p. 289-300, 2008.

COLOSSI, L. D.; BAUERMANN, B. F. C. Logística reversa como fonte de sustentabilidade socioeconômica e ambiental na Cooperativa COOPASAM. **Revista de Gestão e Organizações Cooperativas**, v. 8, n. 16, p. 01-41, 2021.

CORREIA, F. M. Análise de distúrbios de compactação de cavacos de eucalipto em digestores contínuos fase vapor. 2010. 132 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Celulose e Papel) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2010.

ELDORADO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2018**. Disponível em: <http://eldoradobrasil.com.br/img/relatorio-de-sustentabilidade-2018-eldorado-brasil-navegavel.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2021.

ELDORADO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2019**. Disponível em: <http://eldoradobrasil.com.br/img/relatorio-de-sustentabilidade-2019.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2021.

ELDORADO BRASIL. **Relatório de Sustentabilidade 2020**. Disponível em: <https://eldoradobrasil.com.br/img/eldorado-brasil-relatorio-sustentabilidade-2020.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2021.

FERREIRA, A. C. S; **Contabilidade Ambiental: Uma informação para o Desenvolvimento Sustentável**. 3º ed. Ed. Atlas, 2011.

FOELKEL, C. Individualização das Fibras da Madeira do Eucalipto para a Produção de Celulose Kraft. Eucalyptus Online Book & Newsletter. **Celcius Degree**, 2009.

FOELKEL, C. Resíduos Sólidos Industriais do Processo de Fabricação de Celulose e Papel de Eucalipto. Parte 03: Lodos & Lodos. Eucalyptus Online Book & Newsletter. **Celcius Degree**, 2010.

FÜHR, J.; FRAGOSO, I.; DRESCH, A.; VARGAS, A.; MIBIELLI, G. Caracterização físico-química do resíduo sólido da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de papelão. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia, MG, Brasil. 2019.

GARCIA, E. E. C. **Resíduos sólidos urbanos e a economia verde**. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável – FBDS, 2012.

GUAITOLINI, M. Estudo da queima do lodo secundário da indústria de celulose em caldeira de leito fluidizado. 2014. 44f. Dissertação (Magister Scientiae) - Programa de Pós-Graduação do Mestrado Profissional em Tecnologia de Celulose e Papel, Universidade Federal de Viçosa, 2014.

GUEDES, M.J.F.; MOREIRA, F.G.S.; AIRES, K. O.; CURI, R. C.; MONTEIRO, V.E.D. Simulação do Potencial de Geração de Biogás para o Aterro Sanitário em Campina Grande – PB. **II Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências**, 2017.

GUERRA, M. A. S. L. Avaliação de indicadores biológicos e físicoquímicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose. 2007. 61 f. Dissertação (Magister Scientia) – Universidade Federal de Viçosa, 2007.

HARTUNG, P. A natureza do setor pela gestão de resíduos. **Revista O Papel**, p. 40, 2020.

IBÁ – Indústria Brasileira De Árvores. **Relatório Anual de 2021**. Disponível em: <<https://www.iba.org>>. Acesso em 12 ago. 2021.

IZIDIO, L. L.; SUBTIL, G. W.; ANDRADE, A. A. Utilização de Resíduos Sólidos da Indústria de Celulose como Matéria-Prima para Fabricação de Tijolos. **Revista O Papel**, v. 1, p. 50-52, 2014.

KLABIN S/A. **Relatório de Sustentabilidade 2018**. Disponível em: <https://rs2018.klabin.com.br/meio-ambiente/>. Acesso em: 13 dez. 2021.

KLABIN S/A. **Relatório de Sustentabilidade 2019**. Disponível em: <https://rs2019.klabin.com.br/wp-content/uploads/2020/06/klabin-RS19-impresso-PT-4.pdf>. Acesso em: 13 dez. 2021.

KLABIN S/A. **Relatório de Sustentabilidade 2020**. Disponível em: https://rs.klabin.com.br/wp-content/uploads/2021/06/klabin-RS20-PT_web.pdf. Acesso em: 13 dez. 2021.

KUNZ, E. R. Queima de lodo biológico em caldeira de biomassa de uma fábrica de celulose: case FIBRIA. 2014.

LIMA, C. L. Gestão integrada de resíduos sólidos e setor industrial. UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, 2017.

MAGALHÃES, G. V. V. **Avaliação da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos: ensaios de potencial bioquímico de metano (BMP) e projeto piloto de um biodigestor em escala real**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MARTINS, S. M. Uso de antraquinona na deslignificação Kraft como forma de minimizar o impacto ambiental causado pelos compostos de enxofre. 2011. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2011.

MARQUES, M. L.; SILVA, E. J.; VELASCO, F. G.; JUNIOR, C. C. M. F. Potencialidades do uso de resíduos de celulose (DREGS/GRITS) como agregado em argamassas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 16, n. 4, p. 423-431, 2014.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos: manual de orientação. Brasília, 2007.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Cidades Sustentáveis: Logística Reversa. Disponível em :<https://antigo.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/logistica-reversa>. Acesso em: 21 ago. 2021.

MOTTA, W. H. Análise do ciclo de vida e logística reversa. Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia. **Gestão e Tecnologia para a Competitividade**. 2013.

NOLASCO, A. M.; ULIANA, L. R. Gerenciamento de resíduos na indústria de pisos de madeira. **Projeto Piso de Madeira Sustentável-PIMADS. ANPM. Universidade de São Paulo. Piracicaba**, 2014.

PAGLIARINI, M. K.; CASTILHO, R. M. M.; ALVES, M. C. Caracterização físico-química de misturas de componentes de substrato com resíduo de celulose para fins de produção de mudas. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 7, n. 2, p. 160-169, 2012.

PELISSER, G.; PELISSER, C.; LOVATO, P. S. **Avaliação do uso de resíduo da indústria de papel e celulose na produção de argamassas**, In: Anais do 5º Seminário Internacional de Construções Sustentáveis. 2016.

PEREIRA, Débora Corrêa de Mello Santos. Compostagem pelo método de aeração passiva: uma solução sustentável para resíduos sólidos orgânicos da indústria de celulose e papel. 2010. 52 f. Dissertação (Mestrado) Universidade de Taubaté, 2010.

PINHEIRO, R. M. **Reciclagem de lodo primário da estação de tratamento de efluentes da indústria de papel em cerâmica argilosa. Dissertação de Mestrado**, 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2008.

PNUMA. Rumo a uma Economia Verde. Caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza - Síntese para tomadores de decisão. Brasília: PNUMA, 52 p., 2011.

RODRIGUES, B. V. C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; SILVA, C. M.; TORRES, C. M. M. E.; MAGALHÃES, M. A. Wet route pellets production using primary sludge from kraft pulp mill. **Nordic Pulp & Paper Research Journal**, 2021.

SANQUETTA, C. R.; OLIVEIRA PIVA, L. R. P.; SANQUETTA, M. N. I., MAAS, G. C. B.; DALLA, A. P. C. MERCADO DE CELULOSE NO BRASIL E EM CINCO GRANDES PAÍSES. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 5, n. 2, p. 189-194, 2020.

SANTI, T. A economia circular na prática. **Revista O Papel**, p. 60–61, 2020.

SIMONETE, M. A.; MORO, L.; WARMLINGM, M. T.; WARMLING, M. I.; ROTERS, D. F.; TEIXEIRA-GANDRA, C. F. A. Viabilidade do composto de lodo proveniente da fabricação de celulose e papel no cultivo de alface. In: **Ensaio nas Ciências Agrárias e Ambientais 4**. p. 205–211.

SILVA, J. D. J. **Avaliação da potencialidade de incorporação de um lodo de uma indústria de produtos de limpeza como adição mineral em concretos de cimento Portland**. 2015. 106 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SILVA, M. R. **Produção e caracterização do biogás de vinhaça com dejetos de bovinos visando a geração de energia e de biofertilizante**. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campo dos Goytacazes, 2015.

SOUZA, C. S. **Sustentabilidade urbana: conceitualização e aplicabilidade**. 66 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São João Del-Rei – UFSJ. Ouro Branco - MG. 2016.

SUZANO PAPEL E CELULOSE. **Relatório de Sustentabilidade 2018**. Disponível em:

https://s1.q4cdn.com/987436133/files/doc_downloads/sustainability_reports/pt/RA_Suzano_2018.pdf. Acesso em: 12 dez. 2021.

SUZANO PAPEL E CELULOSE. **Relatório de Sustentabilidade 2019**. Disponível em:

https://s1.q4cdn.com/987436133/files/doc_downloads/2020/05/Relat%C3%B3rio-Anual-2019-Port.pdf. Acesso em: 12 dez. 2021.

SUZANO PAPEL E CELULOSE. **Relatório de Sustentabilidade 2020**. Disponível em:

https://s1.q4cdn.com/987436133/files/doc_downloads/2021/05/18/RelatorioSuzano2020-Port.pdf. Acesso em: 12 dez. 2021.

VIGIL DE LA VILLA, R.; FRÍAS, M.; ROJAS, I. S.; VEGAS, I.; GARCIA, R. (2007). Mineralogical and morphological changes of calcined paper sludge at different temperatures and retention in furnace. *Applied Clay Science*, v. 36, p. 279.

WORLD COMISSION ON ENVIROMENTAL AND DEVELOPMENT (WCED). *Our common future*. Oxford: Oxford University Press, 1987.

ZANONI, P.R.S.; SCHROEDER, B.; HEINZ, K.; HANSEL, F.; TAVARES, L.; MAGALHAES, W. **Produção de etanol: uma opção para aproveitamento de resíduos gerados nas indústrias de reciclagem de papel**. Documentos 283. Colombo: Embrapa Florestas, 2015.