

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS LONDRINA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

CAROLINE YUKARI TAKIGUCHI

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

PROJETO DE PESQUISA

LONDRINA

2020

CAROLINE YUKARI TAKIGUCHI

DIANÓSTICO AMBIENTAL EM INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador: Prof. Ricardo Nagamine Costanzi

Co-orientador: Prof. Joseane Debora Peruço Theodoro

LONDRINA

2020



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEP. ACADEMICO DE AMBIENTAL-LD

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

Por

Caroline Yukari Takiguchi

Monografia apresentada às 18/09/2020 as 17:00 horas do dia 18/09/2020, como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Prof Bruno de Oliveira Freitas	Membro
Prof. Rafael Montanhini Soares de Oliveira	Membro
Prof Ricardo Nagamine Costanzi	Orientador
Prof. Orlando de Carvalho Junior	Professor(a) responsável TCCII

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus por possibilitar que eu pudesse ingressar nessa universidade, nesse curso e por toda força durante o percurso. Agradeço também à minha mãe, Ruth Akemi Sakaue, que foi durante toda minha vida foi meu exemplo de esforço e dedicação, e que graças a ela, pude ter acesso à educação de qualidade durante minha jornada acadêmica. Agradeço o incentivo e confiança que colocou em mim e em meus objetivos.

Meus agradecimentos vão também à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina, que forneceu estrutura para aprendizado, e principalmente, a todos os professores que me auxiliaram e instruíram nesse caminho. Em especial ao professor Ricardo Nagamine Costanzi, que além das disciplinas forneceu parte do seu tempo para ajudar na elaboração desse trabalho, e meu muitíssimo obrigada à professora Joseane Debora Peruço Theodoro que me ingressou em atividades de pesquisa e ofereceu suporte durante muitos anos da minha graduação além dos muitos conselhos.

Aos meus amigos e colegas de graduação que sempre estiveram presentes e ajudaram nos momentos difíceis e criaram um clima descontraído e divertido. Agradeço especialmente meu amigo e companheiro Gustavo Fagundes, por todo apoio e paciência em diversas situações.

RESUMO

TAKIGUCHI, C. Y. **Diagnóstico ambiental em indústria de papel e celulose**. 2020. 126f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2020.

O setor de indústria de papel e celulose possui elevada contribuição no mercado internacional e nacional e difere de outros mercados devido aos elevados investimentos em tecnologias altamente desenvolvidas e a facilidade de cultivo da matéria prima no país. No entanto, para possibilitar a continuidade de atividades, é necessário mitigar os impactos ambientais trazidos, visando a preservação de insumos e energia. Este trabalho teve como objetivo investigar as práticas e protocolos ambientais por meio de informações disponibilizadas na literatura e em relatórios ambientais e de sustentabilidade de grandes empresas do setor de celulose, e outros trabalhos acadêmicos. Foram analisadas as atividades potencialmente poluidoras do setor de celulose, relacionadas ao consumo de água, geração de resíduos sólidos e efluentes, consumo e geração de energia e emissões atmosféricas. Sobre o consumo de água, as 3 indústrias abordadas, Veracel, Klabin e Suzano, trouxeram informações em seus relatórios anuais. A primeira evidenciou eficiência no uso de água, reduzindo seu consumo específico (m^3/t) ao longo dos anos. A segunda mostrou aumento significativo no reuso de água a partir de 2016, com início de operação de uma nova unidade. E a terceira, mostrou redução de 2014 a 2018 nas unidades de Mucuri e Limeira, de 2.960.787 e 2.964.938 m^3 , respectivamente. Em relação aos resíduos sólidos, foi abordada nesse trabalho apenas a Veracel, e a geração reduziu-se ao longo dos anos, e seu índice de reciclagem é bastante satisfatório, aproximadamente 98% em 2018. Em diversos trabalhos acadêmicos, é abordado as diferentes alternativas de uso de resíduos na agricultura, na produção de cimento Portland, compostagem, estabilização de resíduos de minas, geração de energia e produção de cerâmica. Quanto aos efluentes industriais, a Veracel mostrou redução na geração de efluentes anual de 1.376.318 m^3 de 2014 a 2018, e na geração específica, 1,93 m^3/t . Os parâmetros de emissão, DQO, DBO, AOX, SST, nitrogênio e fósforo mostraram resultados dentro de intervalos obtidos em equipamentos de melhores tecnologias (BAT's). A Klabin mostrou aumento de 26,16% de 2015 a 2016, devido a nova unidade operando, e aumento em 2017, devido ao período de consolidação de atividades dessa unidade. Os parâmetros abordados, DQO e DBO, das unidades de papéis e celulose, mostraram tendência de redução de emissão, em mg/L, com o passar dos anos. A Suzano, traz informações de diferentes unidades do grupo, observado que a maior contribuição é proveniente da unidade de Mucuri, que aumentou a geração de efluentes de 2014 a 2018. No entanto, houve redução da emissão de DBO e DQO, em t/ano, de 2.022 e 6.451, respectivamente. Para geração de energia, observou-se grande contribuição de fontes renováveis nas indústrias analisadas, Veracel e Klabin, com valores de 94,3% e 89,1% respectivamente, no ano de 2018. E aumento significativo na geração e venda de energia principalmente da Klabin. As emissões atmosféricas da Veracel, no período

analisado, mostraram que todos os parâmetros (NOx, SOx, TRS e MP) mantiveram bem abaixo do limite legal. A Klabin e Suzano trouxeram informações de emissões atmosféricas dividindo-as em 3 escopos. A Klabin, assim como visto em relação aos outros itens (água, efluentes e energia), apresentou aumento significativo a partir de 2016, nas emissões de todos os 3 escopos, em especial o escopo 1. Já na Suzano, foi observado esse aumento no ano de 2018, principalmente nos escopos 1 e 3, devido a adesão da Fibria ao grupo.

Palavras-chave: papel e celulose, indústria, gestão ambiental

ABSTRACT

TAKIGUCHI, C. Y. **Environmental diagnosis in the pulp and paper industry**. 2020. 126 f. Course Conclusion Paper (Graduation). Bachelor of Environmental Engineering. Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2020.

The pulp and paper industry sector has a high contribution in the international and national market and differs from other markets due to the high investments in highly developed technologies and the ease of cultivation of raw material in the country. However, to enable the continuity of activities, it is necessary to mitigate the environmental impacts brought about, aiming at the preservation of inputs and energy. This work has the purpose to investigate environmental practices and protocols through information available in the literature and in environmental and sustainability reports of large companies in the cellulose sector, and other academic works. Potentially polluting activities in the cellulose sector were analyzed, related to water consumption, generation of solid and effluent waste, consumption and generation of energy and atmospheric emissions. Regarding water consumption, the 3 industries covered (Veracel, Klabin and Suzano), provided information in their annual reports. The first showed efficiency in the use of water, reducing its specific consumption (m^3/t) over the years. Klabin showed a significant increase in water reuse since 2016, with the start of operation of a new unit. And Suzano, showed a reduction from 2014 to 2018 in the Mucuri and Limeira units, of 2.960.787 and 2.964.938 m^3 , respectively. Regarding solid waste, only Veracel was approached in this work. The generation has been reduced over the years, with a recycling rate is quite satisfactory, approximately 98% in 2018. In several academic works, different alternatives are about the use of waste in agriculture; production of Portland cement; composting; stabilization of mine waste; power generation and ceramic production. As for industrial effluents, Veracel showed an annual reduction in effluent generation of 1.376.318 m^3 from 2014 to 2018, and in specific generation, 1,93 m^3/t . The emission parameters, COD, BOD, AOX, SST, nitrogen and phosphorus showed results within intervals obtained in equipment with best available technologies (BAT's). Klabin showed a 26,16% increase from 2015 to 2016, due to the new operational unit, and an increase in 2017, due to the consolidation period of activities of this unit. The parameters addressed, COD and BOD, of the pulp and paper units, showed a tendency to reduce emissions, in mg/L , over the years. Suzano brings information from different units in the group, noting that the largest contribution comes from the Mucuri unit, which increased the generation of effluents from 2014 to 2018. However, there was a reduction in the emission of BOD (biological and COD, in $t/year$, of 2.022 and 6.451, respectively. For energy generation, there was a large contribution from renewable sources in the analyzed industries, Veracel and Klabin, with values of 94,3% and 89,1% respectively, in 2018. And a significant increase in the generation and sale of energy, mainly from Klabin. Veracel's atmospheric emissions, in the analyzed period, showed that all parameters (NO_x , SO_x , TRS and MP) kept well below the legal limit. Klabin and Suzano brought information on atmospheric emissions by dividing them into 3 scopes. Klabin, as seen in the other items (water, effluents and energy), presented a significant increase in 2016, in emissions from all 3 scopes, especially scope 1. In Suzano, this

increase was observed in 2018, mainly in scopes 1 and 3, due to Fibria's adhesion to the group.

Keywords: pulp and paper, industry, environmental management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Panorama mundial de produtores de celulose	27
Figura 2 - Materiais utilizados para obtenção de clínquer.	69
Figura 3- Tratamento de efluentes por meio de lagoa aerada.	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estágios do branqueamento e o produto químico utilizado.....	32
Tabela 2 - Valores de consumo de água por tonelada de celulose produzida.	37
Tabela 3 - Divisão do setor industrial e a taxa de consumo de energia comparando os anos de 2017 e 2018.....	44
Tabela 4 - Áreas emissoras e os principais poluentes atmosféricos.	45
Tabela 5 - Dados consumos de água por setor durante 2014-2018, Veracel.	49
Tabela 6 - Dados consumos de água por fonte durante 2014-2018, Klabin.	51
Tabela 7 -Disponibilidade de informações de consumo de água total das unidades da Suzano, nos anos de 2014 a 2018.....	53
Tabela 8 - Reciclagem dos resíduos industriais.	59
Tabela 9 - Geração de cinzas em diferentes proporções de biomassa+lodo para queima.	68
Tabela 10 - Caracterização das cinzas, elementos e suas concentrações.	72
Tabela 11 - Propriedades dos resíduos grits, cinzas e lodo de ETE.	73
Tabela 12 - Parâmetros de emissão de efluentes, anuais.	75
Tabela 13 - Relação DQO/DBO do efluente da Klabin Celulose.....	80
Tabela 14 - Parâmetros e unidades Suzano abordados nos Relatórios de Sustentabilidade.....	81
Tabela 15 - Parâmetros e unidades Suzano abordados nos Relatórios de Sustentabilidade.....	82
Tabela 16 - Concentração de DQO (t/ano) em efluente das unidades das indústrias Suzano.	84
Tabela 17 - Emissão de DQO (t/ano) em efluente das unidades das indústrias Suzano.	84
Tabela 18 - Concentração de DBO (t/ano) em efluente das unidades das indústrias Suzano.	85

Tabela 19 - Emissão de DBO (t/ano) em efluente das unidades das indústrias Suzano.	86
Tabela 20 - Relação DQO/DBO de efluente das unidades da Suzano.	87
Tabela 21 - Geração de energia total e específica da Veracel e Klabin durante os anos de 2014-2018.	88
Tabela 22 - Geração de energia por fontes renováveis e não renováveis pelas indústrias Veracel e Klabin nos anos de 2014-2018.....	90
Tabela 23 - Geração de energia por tipo de combustível renovável da Veracel, de 2014 a 2018.	91
Tabela 24 - Geração de energia por tipo de combustível renovável da Klabin, de 2014 a 2018.	93
Tabela 25 - Geração de energia por tipo de combustível não-renovável da Veracel, de 2014 a 2018.	95
Tabela 26 - Geração de energia por tipo de combustível não-renovável da Klabin, de 2014 a 2018.	97
Tabela 27 - Parâmetros monitorados por fonte de emissão.....	102
Tabela 28 - Valores de emissão atmosférica de NOx, SOx, TRS e MP.....	102
Tabela 29 - Valores de emissão atmosférica específica de NOx, SOx, TRS e MP (kg/t).	103
Tabela 30 - Valores de emissão dos gases R-22, R-134 e R-141b.	108
Tabela 31 - Valores de emissão de CO2 de acordo com os escopos 1, 2 e 3.....	109
Tabela 32 - Intensidade de emissão de gases de efeito estufa (tCO2/t produto).....	113

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Consumo de água específico da Veracel, anos 2014 a 2018.....	50
Gráfico 2 - Água reciclada/reutilizada na Klabin, anos 2014 a 2018.	52
Gráfico 3 - Consumo de água total das unidades da indústria Suzano, 2014 a 2018.	54
Gráfico 4 - Gráfico de Pareto da geração de resíduos no ano de 2014.	55
Gráfico 5 - Gráfico de Pareto da geração de resíduos no ano de 2015.	55
Gráfico 6 - Gráfico de Pareto da geração de resíduos no ano de 2016.	56
Gráfico 7 - Gráfico de Pareto da geração de resíduos no ano de 2017.	56
Gráfico 8 - Gráfico de Pareto da geração de resíduos no ano de 2018.	57
Gráfico 9 - Gráfico de geração de resíduos por tonelada de celulose produzida (eixo principal) e índice de reciclagem (eixo secundário) nos anos de 2014-2018	58
Gráfico 10 - Gráfico de geração de resíduos (eixo principal) e índice de reciclagem (eixo secundário).....	60
Gráfico 11 - Gráfico de geração específica de dregs+grits por tonelada de celulose produzida.....	61
Gráfico 12 - Geração do resíduo Lodo primário e o percentual de reciclagem do material.....	61
Gráfico 13 - Geração do resíduo Lodo primário e o percentual de reciclagem do material.....	62
Gráfico 14 - Geração do resíduo cinzas (eixo primário) e o a geração específica (eixo secundário).....	63
Gráfico 15 - Geração total e específica de efluentes da indústria Veracel.	74
Gráfico 16 - Geração total e específica de efluentes da indústria Klabin.	77
Gráfico 17 - Parâmetros do efluente da Klabin Papéis.....	78

Gráfico 18 - Parâmetros do efluente da Klabin Celulose.....	79
Gráfico 19 - Geração de efluentes, unidades Suzano.....	83
Gráfico 20 - Curvas de geração de energia da Klabin e da Veracel.....	89
Gráfico 21 - Contribuição de fontes renováveis para a geração de energia na Veracel e Klabin.	91
Gráfico 22 - Contribuição por tipo de combustível na geração de energia renovável – Veracel.	93
Gráfico 23 - Contribuição por tipo de combustível na geração de energia renovável – Klabin.	95
Gráfico 24 - Contribuição por tipo de combustível na geração de energia não-renovável, Veracel.....	96
Gráfico 25 - Contribuição por tipo de combustível na geração de energia não-renovável, Klabin.	98
Gráfico 26 - Contribuição por tipo de combustível na geração de energia não-renovável, Klabin.	99
Gráfico 27 - Consumo de energia das indústrias Veracel e Klabin, de 2014 a 2018....	100
Gráfico 28 - Venda de energia das indústrias Veracel e Klabin, de 2014 a 2018.....	101
Gráfico 29 - Valor de emissão de NOx por fonte, em mg/Nm ³	104
Gráfico 30 - Valor de emissão de MP por fonte, em mg/Nm ³	105
Gráfico 31 - Valor de emissão de TRS por fonte, em mg/Nm ³	106
Gráfico 32 - Valor de emissão de SOx, em mg/Nm ³	107
Gráfico 33 - Emissão total de CO2 das indústrias Klabin e Suzano, em tCO2.....	111
Gráfico 34 - Contribuição dos escopos 1, 2 e 3 na emissão total de CO2, Klabin.	112
Gráfico 35 - Contribuição dos escopos 1, 2 e 3 na emissão total de CO2, Suzano.	112

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	19
3. JUSTIFICATIVA	20
4. REFERENCIAL TEÓRICO	21
4.1 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL	21
4.1.1 CONSUMO DE ÁGUA.....	21
4.1.2 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	22
4.1.3 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS.....	22
4.1.4 GERAÇÃO DE EFLUENTES.....	24
4.2 FABRICAÇÃO DO PAPEL E DA CELULOSE	25
4.2.1 BREVE HISTÓRICO.....	25
4.2.2 INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE NO BRASIL.....	26
4.2.2 PROCESSO PRODUTIVO UTILIZADO NO BRASIL.....	28
4.3 GESTÃO AMBIENTAL	35
4.4 IMPACTOS AMBIENTAIS POTENCIAIS DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE	36
4.4.1 CONSUMO DE ÁGUA.....	36
4.4.2 RESÍDUOS SÓLIDOS.....	38
4.4.3 EFLUENTES.....	41
4.4.4 CONSUMO DE ENERGIA	43
4.4.5 POLUENTES ATMOSFÉRICOS.....	45
5. MATERIAIS E MÉTODOS	46
6. RESULTADOS	49
6.1 CONSUMO DE ÁGUA.....	49
6.1.1 Veracel.....	49
6.1.2 Klabin.....	51
6.1.3 Suzano.....	53
6.2 RESÍDUOS SÓLIDOS INDÚSTRIAS	54

6.2.1 <i>Diagnóstico Veracel</i>	54
6.2.1.1 <i>Dregs e Grits</i>	59
6.2.1.2 <i>Lodos de Estação de Tratamento de Efluentes</i>	61
6.2.1.3 <i>Cinzas</i>	62
6.2.2 <i>Estudos de Aproveitamento, Reciclagem e Reúso dos resíduos</i>	63
6.2.2.1 <i>Dregs eGrits</i>	64
6.2.2.2 <i>Lodos de Estação de Tratamento de Efluentes</i>	66
6.2.2.3 <i>Cinzas de Caldeira de Força</i>	71
6.3 EFLUENTES INDUSTRIAIS	74
6.3.1 <i>Veracel</i>	74
6.3.2 <i>Klabin</i>	77
6.3.3 <i>Suzano</i>	80
6.4 ENERGIA	88
6.4.1 <i>Diagnóstico - Veracel e Klabin</i>	88
6.4.2 <i>Combustíveis Renováveis</i>	91
6.4.3 <i>Combustíveis Não Renováveis</i>	94
6.4.4 <i>Consumo de Energia</i>	99
6.5 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS	101
6.5.1 <i>Veracel</i>	101
6.5.1.1 <i>Emissões Atmosféricas por Fonte</i>	103
6.5.1.2 <i>Gases nocivos à Camada de Ozônio</i>	107
6.5.2 <i>Klabin e Suzano</i>	113
7. CONCLUSÃO	112
8. REFERÊNCIAS	116

1. INTRODUÇÃO

Apesar dos impactos ambientais adversos oriundos da atividade industrial do ramo de celulose e papel, o mesmo é de extrema relevância para o setor econômico devido ao montante de sua receita financeira.

No cenário mundial, durante os anos de 2005 a 2015, o setor produziu acima de 180 milhões de toneladas produzidas ao ano, com exceção do ano de 2009, que foi impactado pela intensificação da crise internacional. Já no cenário nacional, a produção econômica ultrapassou 17 milhões de toneladas no ano de 2015, resultado composto por 74 empresas distribuídas no país (FIEP, 2016). A indústria de celulose difere de outros mercados graças ao elevado investimento em tecnologias altamente desenvolvidas e de moderada acessibilidade, além da capacidade de inserção da cultura do eucalipto como matéria-prima.

O custo da produção da celulose no Brasil é inferior em comparação a outros países e, portanto, o lucro obtido está intimamente relacionado com seu baixo custo. Porém, a busca de redução de custos de produção deve estar associada a mitigação dos impactos ambientais advindos da atividade, o que exige esforços na busca de melhorias do processo (ARAÚJO, 2018).

Assim, a mitigação dos impactos ambientais é vital para o setor de papel e celulose, pois para viabilizar a continuidade de suas atividades, faz-se necessária a preservação de matérias primas e energia utilizando tecnologias avançadas e modelos de gestão ambiental atualizados. Para esse fim, além da mitigação dos impactos ambientais provenientes da indústria de papel e celulose, deve-se evidenciar: i) o consumo elevado de água e ii) recursos naturais, iii) lançamento de efluentes e iv) gases no meio ambiente e a v) geração de resíduos sólidos (CABREIRA, 2017).

Para o consumo de água, estima-se que o gasto no processo kraft é de 40 a 55 m³ para cada tonelada de celulose produzida (JUNIOR, 2011). O consumo elevado de água influencia diretamente na geração de efluentes oriundos do uso reagentes e substâncias químicas no processo industrial e de instalações secundárias. Esse efluente carrega consigo poluentes como metais pesados, compostos organoclorados, sólidos suspensos, elevadas cargas de matéria orgânica entre outros que podem acarretar a contaminação de corpos hídricos e culminar em impactos hídricos ambientais negativos, como o aumento do consumo de oxigênio dissolvido, alterações no pH, e causar toxicidade (RODRIGUES, 2018).

Em relação ao consumo de matérias-primas para a produção de celulose, Foelkel (2017) estimou as perdas de recursos ao longo do processo e obteve um índice de 100 toneladas de madeira para obtenção de cerca de 46,5 toneladas de polpa de celulose não branqueada. Dessa forma, cerca de 53,5 toneladas não são utilizadas para processo de obtenção de celulose.

Ao longo do processo, outro recurso essencial é a energia, utilizada sendo a energia elétrica (13,17%) e a térmica (86,83%). Estima-se que o consumo específico de energia elétrica e térmica esteja, respectivamente, em torno de 620 a 850 kwh e 11 a 18 GJ para a produção de 1 tonelada de celulose (MOURA, 2018).

As emissões atmosféricas oriundas da indústria de papel e celulose são diversas e potencialmente prejudiciais à saúde devido a sua toxicidade, além disso podem causar incêndios, contribuir para o efeito estufa, causar chuva ácida e, conseqüentemente, a degradação de ecossistemas. Dentre os poluentes encontram-se abundantemente os materiais particulados (MP), óxidos de enxofre total reduzido (TRS), óxidos de nitrogênio (NO_x), Cloro (Cl₂) e dióxido de cloro (ClO₂), compostos orgânicos voláteis (VOCs) e dioxinas e furanos (RODRIGUES, 2018).

Os resíduos sólidos gerados necessitam de gerenciamento pois os mesmos se acumulam, ocupam grandes espaços, além que a eles estão atreladas as obrigações que visam atender as legislações ambientais (RIBEIRO, 2010). Os principais resíduos gerados no setor são os grits, dregs, lama de cal, casca suja, serragem, rejeito do

processamento de madeira, cinzas de precipitadores das caldeiras e do forno de cal e lodos da estação de tratamento de águas residuárias (CETESB, 2008).

As indústrias têm assumido o compromisso com a sustentabilidade visando a preservação dos recursos naturais por meio da efetivação de Sistemas de Gestão Ambiental e Práticas de Produção mais racionais. O uso adequado de ferramentas de Gestão Ambiental permite, além da preservação do meio ambiente, a ocorrência de benefícios econômicos e de imagem (CNI, 2017).

Desde a década de 1980, várias mudanças têm sido exigidas no processo de produção afim de reduzir os impactos ambientais, modificando a forma de consumo para produtos que contém rótulos ecológicos de produção (FONSECA, 1995).

De acordo com Kuzma et al (2017, p. 3)

A gestão ambiental empresarial está essencialmente voltada para as organizações, ou seja, companhias, corporações, empresas ou instituições e pode ser definida como sendo um conjunto de políticas, programas, práticas administrativas e operacionais que levam em conta a saúde e a segurança das pessoas e a proteção do meio ambiente através da eliminação ou minimização de impactos e danos ambientais.

Desta forma, o presente trabalho busca concatenar práticas e ações ambientais atualizadas por meio de revisão de literatura e de levantamento junto ao setor de celulose e papel visando realizar diagnóstico ambiental na área de poluição do ar e da água, bem como da energia em sistemas de produção de celulose e papel.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Efetuar diagnósticos por meio de revisão de literatura e relatórios ambientais e de sustentabilidade publicados por grandes empresas do setor de papel e celulose.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Levantar e analisar as atividades potencialmente poluidoras e as medidas relacionadas à:

- a) Consumo de água;
- b) Geração de Resíduos Sólidos;
- c) Geração de Efluentes;
- d) Consumo de Energia;
- e) Emissões Atmosféricas;

3. JUSTIFICATIVA

A indústria de papel e celulose exerce forte influência na economia do Brasil. No ano de 2014 o setor foi responsável por empregar mais de 170.000 pessoas e gerou receita de exportação de mais de US\$ 7,6 bilhões (FIEP, 2016).

Para a produção de celulose, o processo kraft é largamente utilizado no Brasil, no entanto, traz consigo diversos impactos ambientais significativos, sendo vital a aplicação e investimentos em tecnologias avançadas. Dentre os principais impactos levantados, estão o manejo excessivo da área florestal, consumo de água, consumo de energia, utilização de químicos potencialmente poluidores, geração de efluentes industriais, geração de compostos organoclorados, geração de resíduos e emissão de poluentes atmosféricos (FIEP, 2007).

O setor de celulose tem suas atividades consideradas de alto potencial de poluição, segundo a Política Nacional de Meio Ambiente Brasileira, lei n. 6938 de 1981 (MAÇANEIRO et al, 2015).

Nesse contexto, o trabalho abordará o processo de produção da celulose e os impactos ambientais gerados da atividade com a finalidade de desenvolver e organizar medidas e ações de melhorias baseada em ações ambientais setoriais realizadas ao longo dos anos visando a produção mais limpa e o desenvolvimento sustentável inseridos na gestão ambiental.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Legislação Ambiental

Este capítulo buscou apresentar as principais legislações ambientais para as atividades de indústrias de papel e celulose.

4.1.1 Consumo de Água

Para o consumo de água deve-se destacar a (Lei 9.433/1997), que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, define seus objetivos:

I - Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos;

II - A utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável;

III - a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

IV - Incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais.

Segundo a Agência Nacional de Águas, a Lei 9433, diferente do Código das Águas de 1934 que buscava centralizar as decisões sobre a gestão dos recursos hídricos, buscou estabelecer como base o respeito para usos diversos da água, além de tornar a gestão dos recursos hídricos democrática.

4.1.2 Resíduos Sólidos

Para a Gestão dos Resíduos Sólidos, a Lei 12305/2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos com o estabelecimento de diversas diretrizes e metas para o gerenciamento dos resíduos sólidos em todo o país.

Segundo essa lei, o gerenciamento deve possuir a seguinte ordem de prioridade: 1) não geração; 2) redução; 3) reutilização; 4) reciclagem; 5) tratamento dos resíduos sólidos; 6) disposição final ambientalmente adequada.

O item 6 tem sido amplamente discutido para modificação com viés ambiental visando possibilitar a formação de resíduos em matéria-prima para outras cadeias comerciais e industriais.

A responsabilidade do gerenciamento dos resíduos sólidos deve ser compartilhada entre o poder público e o privado, de forma que desde a fabricação, transporte, consumo até o descarte, pois todos os atores desse ciclo possuem responsabilidade quanto ao resíduo sólido gerado.

Dentre as principais os principais instrumentos da Política encontram-se:

1. Plano de Resíduos Sólidos
2. Inventários e o sistema declaratório anual de resíduos sólidos
3. Coleta Seletiva e sistemas de logística reversa

4.1.3 Emissões Atmosféricas

Segundo a Resolução CONAMA nº 3/1990, poluente atmosférico é todo material que dependendo de suas características, que possa tornar ar inadequado e prejudicial à saúde, ao bem-estar público, à fauna e flora e à segurança.

Essa mesma resolução dispõe sobre a Criação do Programa Nacional de Controle de Poluição do Ar – PRONAR como uma ferramenta de gestão ambiental afim

de permitir o desenvolvimento econômico do país de forma segura do ponto de vista ambiental e da saúde da população.

O programa busca limitar as emissões de acordo com a fonte e o tipo de poluente, utilizando complementarmente para o controle padrão de qualidade do ar.

São instrumentos da PRONAR:

- Limites máximos de emissão;
- Padrão de Qualidade do Ar;
- PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores;
- PRONACOP – Programa Nacional de Controle da Poluição Industrial;
- Programa Nacional de Avaliação da Qualidade do Ar;
- Programa Nacional de Inventário de Fontes Poluidoras do Ar;
- Programas Estaduais de Controle de Poluição do Ar.

A Resolução CONAMA nº 3/1990 estabelece os padrões de qualidade do ar, previsto no PRONAR anteriormente citado.

A Resolução CONAMA nº 382/2006 estabelece limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas visando estabelecer uma base de referência nacional, visto que o número de indústrias tem aumentado em todo o país. Como critério, utiliza:

- Os limites de emissões são uma ferramenta de controle ambiental e deve ser utilizado junto à capacidade suporte do meio ambiente no local onde está instalado.
- Para estabelecer os limites, foi considerada todas as tecnologias ambientalmente adequadas utilizadas em todo processo, desde a instalação, operação e obtenção de matérias-primas.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente, essa resolução marca uma mudança quando se trata de emissão atmosférica, visto que as resoluções anteriores ao

PRONAR consideravam a qualidade do ar como um parâmetro básico, sendo permitido emissões maiores onde as condições atmosféricas fossem melhores.

A Resolução CONAMA nº 436/2011 complementa a Resolução Conama 382/2006, e estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas já existentes ou com Licença de Instalação solicitada antes de 2 de janeiro de 2007.

A Resolução CONAMA nº 491/2018 revoga a Conama nº 3/1990 e itens da CONAMA nº 5/1989. Estabelece os padrões de qualidade do ar, baseado nos parâmetros: Material Particulado (MP), Dióxido de Enxofre (SO₂), Dióxido de Nitrogênio (NO₂), Ozônio (O₃), Fumaça, Monóxido de Carbono (CO), Partículas Totais em Suspensão (PTS) e Chumbo (Pb). Os limites podem ser observados conforme Anexo 1.

4.1.4 Geração de Efluentes

A Resolução CONAMA nº 357/2005 classifica os corpos hídricos, dispõe sobre o seu enquadramento e estabelece condições para o lançamento de efluentes. As águas doces são classificadas da seguinte forma:

- Classe Especial: Águas utilizadas para abastecimento humano, sendo necessário apenas a desinfecção; a preservação de comunidades aquáticas e ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
- Classe I: Águas utilizadas para o abastecimento humano após aplicação de tratamento simplificado; a proteção de comunidades aquáticas; a recreação de contato primário como natação, mergulho etc; a irrigação de hortaliças de consumidas cruas; a proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.
- Classe II: Águas utilizadas para o consumo humano após aplicação de tratamento convencional; a proteção de comunidades aquáticas; a recreação de contato primário; a irrigação de hortaliças, plantas e

parques que a população possa ter contato; à aquicultura e em atividade de pesca.

- Classe III: Águas utilizadas para o consumo humano após tratamento convencional ou avançado; à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; à pesca amadora; à recreação de contato secundário e à dessedentação de animais.
- Classe IV: Águas utilizadas para navegação e para a harmonia paisagística.

Atualmente, observa-se uma tendência ambiental ao atendimento da geração de efluentes com características físico-químicas e biológicas aos parâmetros e valores da Classe II. O estado do Paraná iniciou no Comitê da Bacia Hidrográfica do Tibagi a exclusão da Classe IV como prática em suas Bacias Hidrográficas.

A Resolução CONAMA nº 430/2011 estabelece condições para o lançamento de efluentes, altera e complementa a Resolução nº 357/2005. A resolução aborda os padrões de lançamento para os parâmetros como pH, temperatura, materiais sedimentáveis, vazão de lançamento, óleos minerais, óleos vegetais e gorduras animais, ausência de material flutuante e Demanda Bioquímica de Oxigênio além de outros compostos inorgânicos.

4.2 Fabricação do papel e da celulose

4.2.1 Breve histórico

Inicialmente, a necessidade de transcrever as ideias do homem para uma superfície era suprida com os registros, inscrições e desenhos encontrados nos locais onde residiam, como nas cavernas. No entanto, com a migração para outros locais houve a necessidade de transporte desses registros (KLOCK et al, 2013).

Dessa forma, primitivamente foram utilizadas peles de animais, barro cozido, cascas de árvores até que em 3700 a.c, os egípcios desenvolveram o papiro, suporte que utiliza dos caules da planta *Cyperus papyrus* encontrada em abundância nas margens do Rio Nilo. No entanto, ainda que o papiro empregasse o uso de fibras vegetais, difere do papel que utilizamos atualmente pois não havia a separação da celulose (TEIXEIRA et al, 2017).

O verdadeiro berço do papel foi a China, em 105 D. C. quando o oficial T'sai Lun observou a tarefa das vespas ao triturarem as fibras de bambu e amoreira e, obtendo assim uma pasta celulósica. Com base na mesma ideia, o oficial desenvolveu a primeira folha de papel ao triturar os mesmos materiais, estendê-los e deixá-los para secar (FRITOLI et al, 2016). No ocidente, o papel chegou apenas no século XII, após a técnica ser ensinada aos Samarcandas por prisioneiros de guerra chineses. De lá, passou-se para outros países até ser monopolizado pelos árabes durante um longo período (AREDES, 2014).

4.2.2 Indústria de Papel e Celulose no Brasil

No Brasil, a primeira fábrica de papel foi inaugurada em 1852, no entanto, era uma fábrica de pequeno porte que importava toda a celulose utilizada no processo. Outras fábricas foram surgindo ao longo do tempo, com as mesmas características de pequeno porte, até os anos 50, período esse que houve um elevado investimento graças ao Plano de Metas do governo, que visava o desenvolvimento do setor industrial afim de garantir a exportação de produtos (LOPES, CONTADOR, 1998). No mesmo período, houve também a inauguração da primeira fábrica de celulose, para atender a produção de papel sem a necessidade de importação da matéria prima que apresentava custo elevado.

A primeira indústria de celulose foi inaugurada no Brasil em 1950, em Monte Alegre no Estado do Paraná. Porém a produção em larga escala ocorreu apenas em 1957 no estado de São Paulo, a qual abriu caminho para que o país se tornasse atualmente, um dos maiores produtores mundiais (OSORIO, 2007).

Durante os anos 1957 a 1973 a produção de papel elevou-se em 4 vezes, e conseqüentemente, a produção de celulose, permitindo que parte da produção fosse exportada. Porém, o grande destaque deu-se nos anos de 1974 até 1980, na qual a produção de celulose atingiu a marca dos 2,9 milhões de toneladas, atribuídas principalmente ao início de operação das indústrias Aracruz celulose e Cenibra (BNDES, 2012).

Nos anos 90, foi o período em que a indústria de papel e celulose no Brasil se consolidou, visando seu crescimento de acordo com o mercado e não pelas exigências do governo como nos anos 50 com o Plano de Metas, visto que em 1980 os esforços foram concentrados na redução de custos e aumento da exportação (BNDES, 2012).

Segundo o trabalho de Moura et al (2017), em 2015 o Brasil encontrava-se na posição de 4 lugar dentre os maiores produtores mundiais de celulose, conforme a Figura 1.

Figura 1 - Panorama mundial de produtores de celulose



Fonte: Moura et al. 2017.

4.2.3 Processo Produtivo utilizado no Brasil

A madeira é composta essencialmente de fibras celulósicas presas entre si por um composto denominado lignina, essa deve ser removida no processo para a conversão da madeira em polpa (Moura et al, 2018).

A composição dos materiais lignocelulósicos são:

- Celulose: É o componente predominante na parede celular da fibra, sendo formado pela relação de diversas moléculas de carboidratos do tipo β -D-glucose (SENAI; IPT, 1998). Além disso, é um polímero de origem natural, estimado ser encontrado em maior quantidade na natureza do que qualquer outro, presente em praticamente em qualquer fibra vegetal (MARTINS, 2016).
- Hemiceluloses: Assim como a celulose, é composto de carboidratos em sua molécula, no entanto, contém diferentes tipos além da β -D-glucose. Sua presença confere características importantes para pasta celulósica. O termo hemicelulose abrange diferentes arranjos entre dois ou mais tipos de açúcar (SENAI, IPT, 1998).
- Lignina: É a substância responsável pela rigidez da parede celular, pelas ligações entre as células tornando a madeira resistente a compressão, fornece proteção ao material contra microrganismos (SENAI; IPT, 1998). Por estar junto às celulosas e hemicelulosas, a lignina é responsável pelas características de rigidez das fibras (CASTRO, 2009).

Dentre os diversos processos para a produção de celulose o mais utilizado é o processo kraft, sendo cerca de 90% da celulose obtida por separação química no Brasil por esse processo (MIELI, 2007).

O processo Kraft, desenvolvido pelo alemão Dahl em 1879, trata a madeira na forma de cavacos em equipamentos denominados digestores, vasos pressurizados, nos quais são adicionados os químicos hidróxido de sódio e sulfeto de sódio (licor branco).

O principal objetivo do processo é a remoção de lignina sem danificar as estruturas das fibras, para então obter a polpa de celulose (FAVARO, 2015).

Segundo Nunes (2013), o processo kraft traz vantagens como: 1) Possibilidade de aplicação em diferentes madeiras; 2) Celulose com elevada resistência; 3) Recuperação de reagentes; 4) Branqueamento da polpa bastante eficaz.

Já as desvantagens encontram-se a geração de odores, elevado investimento inicial para a estrutura, e rendimento de polpação inferior em comparação a outros processos.

Segundo, Castro (2009), o processo é composto por diferentes descritas nos itens a seguir:

DESCASCAMENTO

Essa etapa do processo tem o objetivo de reduzir a quantidade de químicos empregados no processamento da madeira, ao remover material pouco fibroso que poderia consumir consumi-los, além de remover material que poderia impactar negativamente fases de lavagem e peneiração.

PICAGEM

Nessa etapa, as madeiras são reduzidas a fragmentos, denominados cavacos, para que nos processos posteriores a penetração dos químicos seja mais efetiva.

CLASSIFICAÇÃO

Após a etapa de picagem os cavacos são separados de acordos com suas dimensões, as frações adequadas para o processo são denominados aceites, e

aqueles cujas dimensões estão fora do padrão voltam ao picador ou são queimados na caldeira.

COZIMENTO

Também chamado de digestão, essa etapa ocorre em equipamentos pressurizados chamados de digestor ou cozedor. Além disso, esse processo pode ocorrer em 2 ritmos:

Descontínuo: Nesse processo o cavaco é mantido durante um tempo no digestor, onde é aquecido gradualmente, no decorrer de 50-90 min, até chegar à temperatura aproximada de 170 °C.

Contínuo: Os cavacos e o licor de cozimento são alimentados no digestor ininterruptamente, onde passam por regiões de temperaturas crescentes até atingir a região onde a temperatura é constante (zona de cozimento).

Os químicos empregados nessa etapa são o licor branco, que contém essencialmente hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na₂S), e o licor negro, licor proveniente do processo de cozimento anterior e que contém outros componentes da madeira. O licor negro auxilia na recirculação do licor branco sem a necessidade de inserir água.

O hidróxido de sódio permite um cozimento uniforme e a degradação das fibras em menor escala. Já o sulfeto de sódio impede a elevada concentração de soda cáustica na fase inicial do processo, reduzindo assim a taxa de degradação da polpa. Os principais agentes no licor branco são os ânions hidroxilas (OH⁻) e hidrossulfeto (HS⁻) que reagem com a lignina.

Durante o cozimento, conforme a soda é consumida ocorre a hidrólise do sulfeto de sódio, de acordo com a Equação 1 (PAULA, 2017):



DEPURAÇÃO

Após o cozimento a massa de celulose é direcionada para a depuração, onde ocorre a separação da polpa dos materiais estranhos, palitos e nós. A polpa separada é encaminhada para o processo de lavagem para a retirada dos materiais solúveis, e então direcionadas ao branqueamento.

BRANQUEAMENTO

É o processo que tem o objetivo de obter a alvura da fibra em seu estado natural, branco, pois a coloração da polpa depois dos processos de cozimento e depuração, de verde a cinza, é devido a presença de lignina. Assim, a remoção da lignina é essencial para obtenção das fibras, mas também para obtenção da sua alvura mais próximo do branco (CASTRO, 2009). A alvura consiste na reflectância da luz visível nas fibras.

Os estágios de branqueamento estão descritos no Tabela 1.

Tabela 1 - Estágios do branqueamento e o produto químico utilizado.

ESTÁGIOS	CÓDIGO	PRODUTO QUÍMICO
Cloração	C	Cloro gasoso
Extração Alcalina	E	Soda Cáustica
Hipocloração	H	Hipoclorito de Na e Ca
Dióxido de Cloro	D	Dióxido de cloro
Peróxido	P	Peróxido de hidrogênio
Oxigênio	O	Oxigênio (O ₂)
Ozônio	Z	Ozônio (O ₃)
Extração Oxidativa	Eo	Soda Cáustica e Oxigênio (O ₂)
Extração Alcalina com peróxido	Ep	Soda Cáustica e peróxido de hidrogênio

Fonte: CASTRO, 2009.

RECUPERAÇÃO QUÍMICA

A área de recuperação no setor de celulose visa a recuperação dos reagentes a partir de 3 etapas:

Evaporação

A etapa da Evaporação é o início do processo de recuperação química. O principal objetivo é preparar o licor negro proveniente da Linha de Fibras para que ao final da evaporação esteja dentro dos padrões requeridos para a queima da Caldeira de Recuperação (Lwarcel, 2007).

A composição do licor negro é diversa e depende principalmente da madeira utilizada e do processo aplicado, mas em geral, é constituído por diversos elementos orgânicos, tais como lignina e açúcares de cadeia longa, e também inorgânicos (PINHEIRO, 2011).

Na evaporação, o processo visa concentrar o licor negro fraco, recebido com sólidos totais em torno de 15% e ao final, com mais de 70%. Para isso, utiliza-se de equipamentos chamados de evaporadores de múltiplos efeitos no qual não há a

alteração química do material inicial. Como sub-produto, é possível recuperar o metanol que pode ser utilizado como combustível em outras áreas. (Lwarcel, 2007).

Caldeira de Recuperação

Segundo Pinheiro (2011), a caldeira de recuperação tem os principais objetivos:

- Produzir sulfeto de sódio e carbonato de sódio;
- Geração de vapor por meio do uso do licor negro como combustível;
- Redução de matéria orgânica.

Na caldeira de recuperação o licor negro é alimentado nas paredes do equipamento e sofre diversas modificações químicas e físicas durante o processo, sendo elas:

- Secagem: Retirar o restante da água retida no licor;
- Pirólise: Combustão da fração orgânica, na qual as partículas de licor encontram-se em chamas e ao final, resta predominantemente a fração inorgânica como sais de carbonato de sódio, sulfeto de sódio e sulfato de sódio;
- Oxidação: Os sais gerados após a pirólise sofrem oxidação.

Enquanto o processo de queima de licor ocorre, o material inorgânico se acumula no fundo da fornalha onde ocorre a queima final, e então é drenado por bicas e despejados no tanque de dissolução onde há a mistura do licor branco fraco e origina o licor verde.

A água utilizada na caldeira deve ser desmineralizada a fim de se evitar danos no interior dos tubos. Para o primeiro aquecimento dessa água, tem-se os economizadores que utilizam dos gases da saída da caldeira para esse fim e então, segue para o balão onde sai o vapor saturado. Esse vapor saturado segue para os superaquecedores e se torna vapor superaquecido.

O vapor gerado é usado tanto na própria fábrica quanto para a geração de energia (GUERATO; JUNIOR, 2012).

Caustificação

O licor verde proveniente da caldeira de recuperação é composto essencialmente por sulfeto de sódio e carbonato de sódio, e segue para a planta de caustificação para a conversão do carbonato de sódio, material inativo, em hidróxido de sódio que será utilizado na etapa de cozimento da madeira (DIEL, 2013).

Do ponto de vista econômico, a eficiência do processo de caustificação em converter os químicos em licor branco com propriedades adequadas para atender os requisitos da produção de celulose é determinante (PINHEIRO, 2011).

Para essa conversão, é preciso duas etapas químicas, sendo a primeira a reação de hidratação que ocorre depois da adição da cal, essa que reage com a água do licor verde, conforme a Equação 2.



Simultaneamente a reação de hidratação anteriormente descrita, em que há a formação do hidróxido de cálcio, ocorre a reação desse com o carbonato de sódio contido no licor verde. Essa reação é denominada de caustificação, descrita a seguir pela Equação 3:



Dessa forma, ocorre a formação do hidróxido de sódio, utilizado como licor de cozimento, no entanto, é preciso separá-lo do carbonato do sódio por meio de filtros. O carbonato de cálcio é removido na forma de lama, enquanto o licor branco, líquida.

A lama retirada nos filtros é direcionada ao forno de cal, local destinado a recuperação da cal utilizada na reação de hidratação do licor verde. No forno de cal ocorre a reação, conforme a Equação 4: (DIEL, 2013).



4.3 Gestão Ambiental

Nos últimos tempos, a questão ambiental tem sido colocada em pauta, modificando a visão em relação ao meio ambiente, devido a influências do mercado e suas exigências na aquisição de produtos que tenham em seu processo impactos ambientais reduzidos, pois ao se minimizar os impactos negativos em processos produtivos, permite-se que ocorra a redução de gastos em atividades de mitigação (MIELI, 2007).

A sustentabilidade tem se tornado um tema importante, se não essencial entre os executivos e gestores, tanto que nos dias de hoje, a gestão nos níveis organizacionais tem procurado aliar os ganhos econômicos à responsabilidade social e aos aspectos ambientais. Adicionalmente, há também pressão exercida pela regulamentação das leis (BICHUETI et al, 2011).

A fim de se produzir com a qualidade requerida, reduzir o consumo de recursos do meio ambiente e manter a biodiversidade muitas empresas têm aderido ao Sistema de Gestão Ambiental - SGA (BOLICENHA, 2013).

Pereira (2015), em seu trabalho, utilizou a definição de Gestão Ambiental de vários autores como McCloskey e Maddock que definiam como uma série de preparações na estrutura e nas práticas da empresa com o objetivo de se posicionar às questões ambientais. Barbieri (2006), o definiu como “diretrizes a atividades administrativas operacionais, tais como planejamento, direção, controle, alocação de recursos e outras realizadas com o objetivo de obter efeitos positivos no meio ambiente”.

Nas empresas, a mitigação e redução dos impactos ambientais gerados surgem pela demanda da sociedade, que pressiona o envolvimento ambiental das empresas e influencia o governo, que por sua vez, estabelece normas e legislações (BARBIERI, 2006).

4.4 Impactos Ambientais Potenciais da Indústria de Papel e Celulose

4.4.1 CONSUMO DE ÁGUA

Para a indústria de papel e celulose, a água é primordial para o processo produtivo, sendo estimado o consumo de 20 a 50 m³ de água por tonelada de celulose produzida, valor esse bastante reduzido quando comparado ao passado, no qual era utilizado mais de 400 m³/t (FOELKEL, 2011). Segundo Nunes (2013), a média de consumo de água na indústria de celulose no passado era muito elevada e pode ser verificada na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de consumo de água por tonelada de celulose produzida.

Ano	Consumo de água (m³/t)
1958	240
1969	156
1975	111
1979	96
1985	79
1988	72
1999	60

Fonte: Nunes, 2013.

Ainda que utilizado em abundância no processo, a água não é um insumo de alto custo, sendo avaliado cerca de 0,12 US\$/m³ de água tratada nas ETA's – Estação de Tratamento de Água em casos em que não há taxas aplicadas pela gestão da bacia hidrográfica (FOELKEL, 2011).

O elevado consumo do setor de celulose é justificado devido ao princípio da atividade realizada, a separação das fibras celulósicas da madeira, que demanda que o processo ocorra em meio altamente líquido. Além disso o transporte do material por meio do bombeamento é facilitado (FOELKEL, 2011).

Segundo Amaral (2008), as características das águas utilizadas variam de acordo com a área do processo:

➤ Pátio de Madeira: A água utilizada não pode conter sólidos, areias, partes de madeira afim de reduzir as chances de entupir e danificar os aparelhos, além de possuir pH próximo à neutralidade e temperaturas inferiores a 60 °C.

➤ Linha de Fibras, Evaporação, Caustificação, Fornos de Cal e Planta Química: A água utilizada é fornecida pela ETA, com padrão de qualidade.

➤ Caldeira de Recuperação e Caldeira de Força: A água utilizada nas caldeiras deve ter padrões de qualidade bastante elevados, portanto, após ser tratada na ETA, passa por outros tratamentos mais rigorosos, afim de retirar os principalmente os minerais e o oxigênio dissolvido do meio para evitar futuros problemas como incrustações e oxidação nos equipamentos.

Além do alto consumo de água, nas fábricas de celulose, há várias perdas evidenciadas pelo volume de lançamento de efluentes ser menor do que o captado, em torno de 10 a 20%. Dentre os principais pontos de perdas de água, encontram-se (Foelkel, 2011):

➤ Evaporação da água: Nas superfícies das lagoas de aeração e lagoas de emergência, por meio de neblinas nas torres de resfriamento, dispostas locais de disposição ao ar livre, águas contidas em resíduos sólidos como lodos de estação de tratamento e outros resíduos industriais, lavagens de equipamentos e na forma de efluentes sanitários

4.4.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

Em relação aos resíduos sólidos provenientes da atividade de papel e celulose, Celso Foelkel executou diversos estudos aos longos dos anos, estudando separadamente os resíduos e classificando-os como:

- 1) Fibrosos (Foelkel, 2007)
- 2) Minerais (Foelkel, 2010)
- 3) Lodos (Foelkel, 2011)

4.4.2.1 Resíduos Fibrosos

As fibras contidas na madeira são utilizadas para a produção da celulose e papel, no entanto, durante o processo essas fibras podem ser perdidas, acarretando o aumento do custo, visto que será preciso recompor a matéria prima e os insumos e químicos utilizados, e para tratar e dispor dos resíduos gerados. Além disso, a perda de fibras traz dificuldades à estação de tratamento de efluentes, visto que leva ao aumento de sólidos suspensos e Demanda Química de Oxigênio (DQO), e podem acabar em corpos hídricos gerando diversos impactos ambientais à fauna local (FOELKEL, 2007).

Os resíduos fibrosos gerados durante a atividade são:

- Nós: São resíduos provenientes do processamento da madeira, na etapa de cozimento, para a obtenção da celulose. Seu nome está relacionado com os nós da madeira, locais onde encontram-se as ramificações dos troncos. Por ser uma madeira mais difícil de cozinhar, é amplamente associada aos rejeitos do processo, porém em muitos cavacos de eucaliptos superdimensionados, também ocorre problemas de impregnação do licor. Dessa forma, com a impregnação ineficiente do licor, as fibras não se separam e precisam ser separadas da polpa. Na maioria das fábricas, os nós voltam ao processo de cozimento, já contendo álcali residual.
- Palitos: Provenientes da etapa de depuração e consiste na mistura de feixes de fibras de tamanho bastante reduzido, areia e outros rejeitos inorgânicos e madeira não cozida. Em fábricas mais modernas a geração é reduzida, no entanto, ainda que com as melhores tecnologias, a possibilidade de não-geração é nula.
- Serragem: Originários da etapa de classificação de cavacos, é um resíduo de tamanho pequeno e de difícil quantificação. Estima-se que a serragem representa cerca de 1 a 3% do peso da madeira.
- Casca Suja: São resíduos provenientes do descascamento da madeira utilizada no cozimento, e contém materiais como terra, galhos, folhas e pedras.

4.4.2.2 Resíduos Minerais

Segundo Foelkel (2011), nas fábricas de celulose kraft são gerados os seguintes resíduos minerais:

- Cinzas das Caldeiras de Biomassa: Resíduo oriundo da queima de biomassa, pode ser coletado no fundo da caldeira e no precipitador eletrostático.
- Areia de leito fluidizado: Comumente utilizada em tecnologias de queima em leito fluidizado e possui características como coloração acinzentada, baixa umidade. Sua geração está associada às necessidades da Caldeira de Força.
- Lama de Cal: Liberado no forno de cal e é composto essencialmente de carbonato de cálcio e inertes. Sua consistência é bastante variável.
- Cal Virgem: Resíduo retirado do processo caso sua qualidade não esteja adequada para o processo.
- Dregs: Resíduo proveniente da clarificação do licor verde. Possui características como coloração escura, e consistência pastosa.
- Grits: Residual do processo de conversão do óxido de cálcio para hidróxido de sódio.
- Cinza de Caldeira de Recuperação: Gerado nas caldeiras de licor preto, as cinzas são purgadas a fim de eliminar cloretos e potássios que podem causar incrustações.
- Sesquisulfato ácido de sódio: Residual da planta de fabricação de dióxido de cloro, que utiliza o composto para a reposição de sulfato de sódio.

4.4.2.3 Lodos

Segundo Foelkel (2010), os lodos são resíduos pastosos e úmidos e são resultantes de diversos processos que utilizam água.

Nas indústrias krafts, na etapa de tratamento de efluentes, o objetivo é a remoção de sólidos suspensos. Para isso, o efluente passa por diversos tratamentos, e em cada um deles retirado uma massa de sólidos, entre outros componentes, denominados de lodos. São eles:

- a) Lodo Primário: São sólidos removidos facilmente por meio de decantadores. É denominado “primário” por usualmente ser gerados na primeira etapa do tratamento.
- b) Lodo Secundário/Biológico: Para a remoção de matéria orgânica, é comum a aplicação de tratamentos biológicos, no qual diversos microrganismos alimentam-se desses materiais de forma a adquirir energia e fixar o carbono. Após um certo período, a quantidade de microrganismos aumenta, sendo necessária a remoção dos mesmos na forma de lodos biológicos.
- c) Lodo Químico/Terciário: O tratamento químico não é comum em fábricas de celulose e papel e é aplicado em casos em que o tratamento biológico não foi o suficiente para a remoção dos poluentes de forma satisfatória. Essa etapa ocorre por meio da coagulação, floculação, seguida da clarificação, onde os sólidos são separados da fase líquida, formando o lodo terciário.

4.4.3 EFLUENTES

Na etapa do branqueamento é observado o maior potencial de impacto ambiental visto que são utilizados diversos químicos, ácidos e alcalinos; nos estágios do processo. Usualmente, utilizam-se compostos clorados para a oxidação da lignina restante na polpa, não removidas nos processos anteriores (CETESB, 2008).

Um dos fatores preocupantes é a formação de compostos tóxicos organoclorados, em que as moléculas de baixo peso molecular têm a capacidade de penetrar a membrana das células, resultando em alterações no gene dos organismos. Além de causarem bioacumulação nas células (GUAGLIANONI, 1997).

A presença desses poluentes foi detectada em embalagens de produtos de consumo humano nos anos 80 e foi a uma das razões para que as empresas buscassem alternativas para a extinção do uso de cloro elementar, sendo elas (HILGEMBERG, 2000):

- Promover maior remoção da lignina nos estágios anteriores
- A utilização de oxigênio para a etapa anterior ao branqueamento em si,
- Eliminar o uso de cloro elementar no branqueamento

O processo de Branqueamento ECF (Elemental Chlorine Free) consiste na utilização de dióxido de cloro ao invés do cloro gasoso, e passou a ser aplicado industrialmente desde o final dos anos 80 (GERMER, 2012).

A principal vantagem desse método é a geração de compostos organoclorados 5 vezes menor que no processo convencional (VENTORIM, 1999). Outra alternativa é o processo chamado de ECF-light, o qual é ecologicamente mais evoluído, no qual é aplicado ozônio previamente à utilização de dióxido de cloro (GERMER, 2012).

A tecnologia na qual não se utiliza nenhum composto de cloro é conhecido como TCF (Total Chlorine Free) no qual o químico empregado é o peróxido de hidrogênio. Esse método teve bastante notoriedade nos anos 90, na Europa e na América do Norte, devido as questões ambientais associadas a utilização de cloro.

No entanto, em 1996, o uso do branqueamento livre de cloro foi interrompido devido à queda dos preços da celulose, e à situação econômica na Europa que não permitiu o elevado custo da celulose obtida pelo processo TFC, consolidando assim o branqueamento EFC (HILGEMBERG, 2000).

No Brasil, em 2008 foi proposto o projeto de lei 4069/08, no qual exige que o branqueamento seja realizado pelo método TFC, utilizando químicos como o oxigênio, peróxido de hidrogênio e ozônio.

De acordo com o projeto, todo papel produzido por outro método teria que ser removido do mercado, sem ressarcimento do comprador. Esse projeto foi rejeitado com a argumentação de que o tratamento de efluentes é eficaz para reduzir os perigos oferecidos pelas dioxinas geradas. (JUSBRAZIL, 2009).

4.4.4 CONSUMO DE ENERGIA

Segundo o trabalho “Resenha Energética Brasileira” realizado em 2019 pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), no ano 2018 foi constatado que a geração de energia por meio de fontes renováveis chegou a 83,3% de participação na Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE).

Quanto ao consumo de energia por setor, foi observado que o setor industrial é o maior consumidor, seguido dos setores de transporte, energético e outros. O setor industrial é dividido em 11 ramificações, e dentre elas a indústria de papel e celulose mostrou aumento no consumo de energia em 5,5% em relação ao ano anterior, como pode ser verificado na Tabela 3 (EPE, 2019).

Tabela 3 - Divisão do setor industrial e a taxa de consumo de energia comparando os anos de 2017 e 2018.

	Ramificação do Setor	Taxa de Consumo de Energia % (em relação ao ano anterior)
Setor Industrial	Cimento	- 4,7
	Não Ferroso e Outros da Metalurgia	- 20,0
	Química	- 1,6
	Alimentos e Bebidas	- 17,4
	Têxtil	- 1,3
	Cerâmica	- 2,5
	Ferro-Gusa e Aço	+ 1,2
	Ferroligas	+ 4,8
	Mineração e Pelotização	+ 4,9
	Papel e Celulose	+ 5,5
	Outras Indústrias	+ 6,0

Fonte: EPE, 2019.

Nas fábricas de papel e celulose, o vapor gerado é utilizado principalmente nos turbos geradores, para a produção de energia elétrica, no cozimento da celulose, nos secadores da máquina de papel, na evaporação para concentrar o licor negro e nos termos compressores da máquina de papel (RIBEIRO, 2016).

4.4.5 POLUENTES ATMOSFÉRICOS

De acordo com Miranda (2008), as principais áreas responsáveis pelas emissões atmosféricas e os seus poluentes são:

Tabela 4 - Áreas emissoras e os principais poluentes atmosféricos.

PROCESSOS	POLUENTES
Caldeira de Recuperação	MP, TRS, SO ₂ , NO ₃
Caldeira de Biomassa	MP, SO ₂ , NO ₃
Tanque de dissolução	MP, TRS
Forno de Cal	MP, TRS, SO ₂ , NO ₃
Branqueamento	Cl ₂ , ClO ₂

Fonte: Miranda (2008).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

As indústrias avaliadas foram a Veracel, Klabin e Suzano e a escolha por elas foram devidos a:

- Grande contribuição no setor de celulose no cenário nacional. A Veracel possui capacidade de produção instalada de 1,1 milhão de toneladas anuais. Klabin conta com 18 unidades no Brasil e a Suzano, após a fusão com a Fibria, conta com 11 unidades industriais e capacidade de produção instalada de milhões de toneladas de celulose.
- Disponibilizam informações ambientais referentes ao consumo de água, geração de efluentes, consumo e geração de energia e resíduos sólidos.
- Possuem certificação ISO 14.001 - referente ao sistema de gestão ambiental.
- Empresas com reconhecimento nacional e internacional;
- Produção e operação no período de 2014 a 2018.

A metodologia a ser aplicada neste trabalho foi realizada em conformidade com Rother (2007), com a proposta de sete (6) etapas:

- 1) Formulação de pergunta base para a escolha de itens que devem ser desenvolvidos no trabalho;
- 2) Localização do estudo – Definição da base de dados a ser utilizada;
- 3) Avaliação crítica dos estudos;
- 4) Coleta de dados;
- 5) Análise e apresentação dos dados;
- 6) Interpretação de dados.

Para a realização e desenvolvimento deste trabalho, as etapas serão discriminadas de acordo com as particularidades:

- 1) Perguntas Base:
 - a. Qual a relevância da indústria de celulose no país no âmbito econômico, ambiental e estratégico?
 - b. Quais os principais impactos ambientais associados ao processo industrial da produção de celulose?
 - c. Quais os principais impactos ambientais associados ao processo industrial da produção de papel?
 - d. Quais ações, práticas e tecnologias utilizadas ao longo do tempo e atualmente pelo setor de papel e celulose no Brasil e no Mundo que apresentaram mitigação dos impactos ambientais?
 - e. Qual a previsão futura do setor quando se trata de sustentabilidade?

- 2) Localização do estudo – Definição da base de dados a ser utilizada
 - a. Utilizar teses e artigos científicos;
 - b. Analisar os Relatórios de Sustentabilidade de grandes empresas do setor;

- 3) Critérios
 - a. Materiais com viabilidade técnica e econômica de aplicação no setor de celulose e papel;
 - b. Estudos consolidados;

- 4) Verificar dados em:

- a. Artigos de Revistas com fator de impacto;
- b. Artigos de Revistas e capítulos de livros especializadas em papel e celulose;
- c. Relatório de Sustentabilidade de grandes empresas do setor de Papel e Celulose;
- d. Teses e Dissertação de Programas consolidados;
- e. Planos e protocolos ambientais de órgãos consolidados.

5) Análise e apresentação dos dados

- a. Organizar o trabalho a partir dos resultados do item 1;
- b. Sintetizar os dados na forma de protocolos;
- c. Analisar os dados integrados à sistemas de gestão ambiental;
- d. Comparar os dados reais das indústrias com planos e protocolos que abordam a redução dos impactos ambientais.

6) Interpretação de dados

- a. Verificar a aplicabilidade dos resultados;
- b. Analisar a viabilidade econômica;
- c. Averiguar a prática corrente;

6. RESULTADOS

6.1 CONSUMO DE ÁGUA

As três indústrias avaliadas nesse trabalho, Veracel, Klabin e Suzano, disponibilizam as informações sobre o consumo de água. No entanto, cada uma fornece de modo diferente e, ocasionalmente não mantém uniformidade na disponibilização de dados nos relatórios ao longo de 2014 a 2018. Dessa forma, apenas os consumos de água da Veracel e da Klabin, serão discutidas nesse tópico pelo fato de manterem constância de seus dados

6.1.1 Veracel

A indústria Veracel consome a água tanto na atividade industrial para obtenção de celulose, quanto na área Florestal para construção, manutenção de estradas e principalmente, irrigação. As informações de consumo de água da Veracel de acordo com o setor, estão apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Dados consumos de água por setor durante 2014-2018, Veracel.

Local	m3/ano					Limite Legal
	2014	2015	2016	2017	2018	
Fábrica	28.584.492	28.127.092	25.517.225	27.814.143	27.132.399	75.336.000
Viveiro Florestal	94.141	111.342	118.775	112.212	105.920	363.131
Silvicultura	28.920	19.288	62.002	56.829	48.101	-
Colheita e estradas	96.392	139.137	121.393	71.108	77.080	-
Total	28.803.945	28.396.859	25.819.395	28.054.292	27.363.500	-

Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel (2014-2018).

Das informações da Tabela 5, é evidente que o consumo significativo está associado às atividades da fábrica para a produção de celulose, cujo consumo é equivalente a praticamente ao total consumido pela Veracel. Segundo os Relatórios de Sustentabilidade, a captação de água para atividades fabris é realizada no rio Jequitinhonha, cujo limite para tal captação permitido pela outorga da Agência Nacional das Águas (ANA), é de 75.336.000 m³/ano. Durante o período observado, a Veracel não ultrapassou esse limite, consumindo no máximo cerca de 38% desse valor.

De 2014 até 2016, o segundo maior consumo era proveniente das atividades relacionadas a colheitas e manutenção de estradas. Em 2017, observou-se uma redução no consumo de água usadas na colheita e estrada de aproximadamente 41%

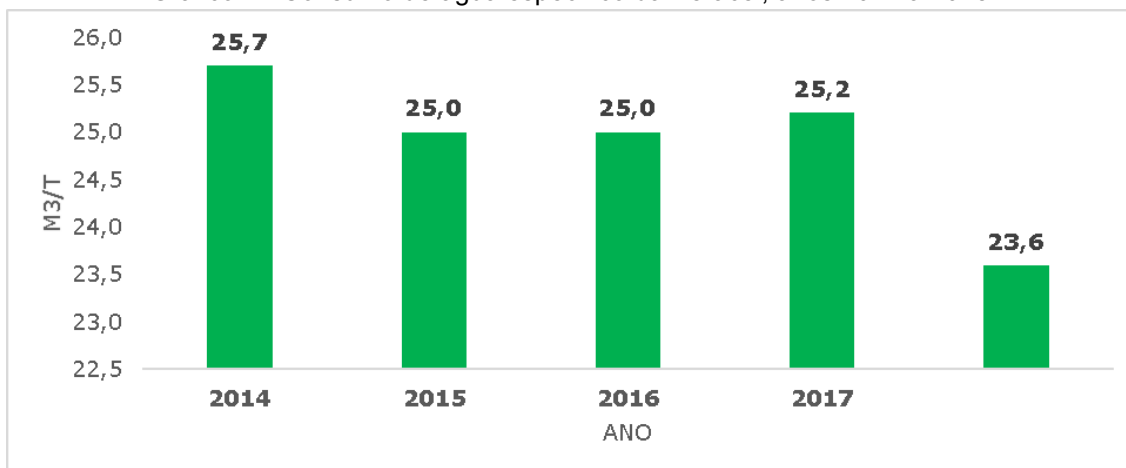
em relação ao ano anterior, segundo o relatório de sustentabilidade de 2017, essa redução esteve associada ao aumento de chuvas na região e a diminuição de implantação de estradas em comparação a 2016.

A água consumida para as atividades do Viveiro Florestal, em processos de irrigação e limpeza do local, é captada do rio Pedra Branca e no poço localizado no próprio viveiro. O consumo aumentou cerca de 18% em 2015 e ultrapassou 100.000 m³/ano, e a partir desse ano, o consumo não apresentou grandes variações, mantendo-se entre 105.000-119.000 m³/ano.

Já o consumo relacionado à Silvicultura, apresentou variações durante os anos analisados, no entanto, possivelmente por representar pequena contribuição no consumo total de água em relação as outras atividades, cerca de 0,25%, não foram informadas as causas das variações observadas. De toda forma, foi observado que o consumo do último ano, foi um valor próximo à média entre o consumo mínimo em 2014, e o consumo máximo em 2016.

Observando os valores brutos de consumo de água anual da Tabela 4, o maior valor durante o período analisado foi no ano de 2014 com 28.803.945 m³. No entanto, quando trata-se de eficiência desse consumo de água, é interessante observar os dados específicos, ou seja, consumo de água em m³ a cada tonelada de celulose produzida, disponíveis estão no gráfico 1.

Gráfico 1 - Consumo de água específico da Veracel, anos 2014 a 2018.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel, anos 2014 a 2018.

Dos dados da Tabela 1, observa-se que o consumo de água específico também foi maior no ano de 2014, com 25,7 m³/t celulose. Em 2015 e em 2016, o consumo específico de água foi igual, enquanto o consumo bruto, foi maior em 2015, indicando que nesse ano, a produção foi superior.

No entanto, 2018 é o ano em que se destaca o consumo de água específico, resultando no valor de 23,6 m³/t celulose. Segundo o portal de celulose online a redução do consumo de água foi resultante de projetos para eliminar os transbordos de água dos tanques e reutilizar a água de selagem das bombas. Com isso, foram implementados sistemas de controle de nível do tanque com alarmes no painel de controle, realizadas modificações estruturais de pequena escala em tubulações e acompanhamento da gestão diária do consumo de água.

Outra melhoria citada visando a redução de água da Veracel em 2018 foi em atividades de manutenção e melhoria de estradas. Foi iniciada aplicação de solução à base de cloreto de cálcio para umectar as estradas e controlar a poeira. Essa nova prática surgiu em substituição da aplicação de água, essa que em determinados períodos era aplicada 4 vezes por dia. No entanto, quando se observa o dado de água destinado à colheita e estrada na Tabela A, vê-se que de 2017 para 2018 houve um aumento de quase 6.000 m³. Visto que essa prática de aplicação de cloreto de cálcio resultou na redução do consumo de água espera-se que o aumento visto tenha sido em atividades destinadas à colheita.

6.1.2 Klabin

A Klabin disponibiliza os consumos de água por fonte em seus relatórios de sustentabilidade anuais. Os dados de consumo estão disponíveis na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados consumos de água por fonte durante 2014-2018, Klabin.

(m3)	2014	2015	2016	2017	2018
Superficial	62.385.795	61.681.494	92.413.750	111.981.300	109.133.550
Subterrânea	106.743	108.951	91.960	91.680	100.630
Concessionária	226.500	188.969	179.550	186.120	169.340
Total	62.719.038	61.979.414	92.685.260	112.259.100	109.403.520

Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Klabin (2014-2018).

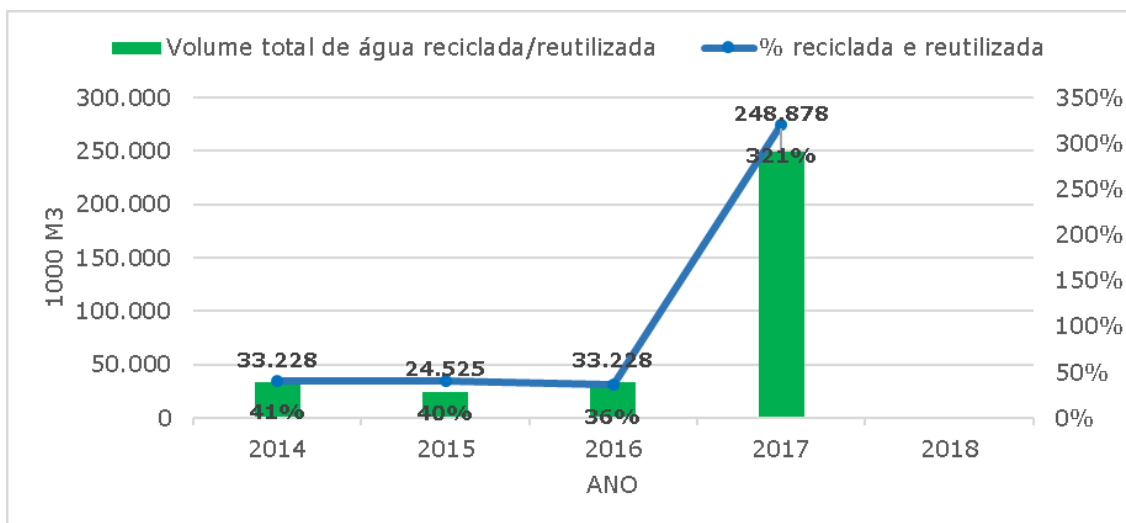
Verifica-se que o consumo de água da indústria Klabin aumentou consideravelmente no ano de 2016, com a inauguração de uma nova unidade, e partir desse ano, houve aumento gradual até 2018, ano que atingiu o maior consumo de água do período analisado, com consumo de 109.403.520 m³.

Dentre as fontes de uso da água na Klabin estão água superficial, subterrânea e de concessionárias, sendo a primeira a mais representativa. Em 2016, quando houve aumento considerável do consumo total de água de 50% em relação ao ano anterior,

percebe-se que o consumo de água de fontes subterrâneas e de concessionárias reduziram, respectivamente 16% e 5%, enquanto o consumo de água de fonte superficial aumentou 50%.

Diferente dos relatórios de sustentabilidade da Veracel, visto no item 6.1.1, a Klabin não disponibiliza os valores de consumo de água específico, porém, é informado a quantidade reutilizada, conforme o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Água reciclada/reutilizada na Klabin, anos 2014 a 2018.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Klabin, anos 2014 a 2018.

Do Gráfico 2, observa-se que o volume de água reutilizado na indústria Klabin em 2014 a 2016 eram de aproximadamente 40% do total captado, atingindo valor máximo de 33.228.000 m³. No entanto, em 2017, um ano após o início da operação de uma nova unidade da Klabin, foi visto que o a quantidade de água reciclada foi surpreendentemente superior ao ano anterior. Segundo o relatório de sustentabilidade de 2017, esse valor de 248.878.000 m³ foi devido à alta capacidade de reutilização da nova unidade.

Em 2018, a Klabin não disponibilizou a quantidade total de água reutilizada, no entanto, citou que a nova unidade reaproveitou cerca de 82% deste recurso.

6.1.3 Suzano

A indústria Suzano dispõe as informações de consumo de água de diversos modos e de determinadas unidades ao longo do período observado. Apresenta-se na Tabela 7 a relação das unidades do grupo Suzano e os anos, de 2014 a 2018.

Tabela 7 -Disponibilidade de informações de consumo de água total das unidades da Suzano, nos anos de 2014 a 2018.

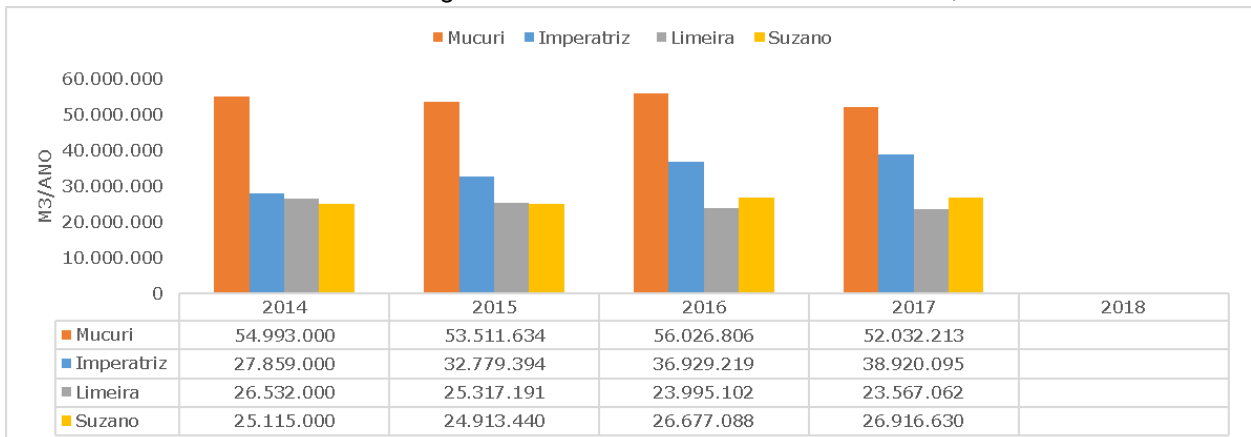
Unidades	2014	2015	2016	2017	2018
Imperatriz	✓	✓	✓	✓	x
Mucuri	✓	✓	✓	✓	x
Limeira	✓	✓	✓	✓	x
Suzano	✓	✓	✓	✓	x
Rio Verde	✓	✓	✓	✓	x
Maranhão	x	✓	✓	x	x
Piauí	x	✓	✓	✓	x
Bahia	x	✓	✓	✓	x
São Paulo	✓	✓	✓	✓	x

Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Suzano, 2014-2018.

Das informações da Tabela 6, percebe-se que durante o período avaliado, a disponibilidade de informação de consumo de água da indústria Suzano não foi contínua em nenhuma das unidades. No entanto, as informações das unidades de Imperatriz, Mucuri, Limeira, Suzano, Rio Verde e São Paulo foram observadas mais frequentemente nos relatórios de sustentabilidade, em todos os anos analisados, com exceção de 2018. As demais unidades, como a de Maranhão, Piauí, e Bahia foram abordadas apenas em alguns relatórios de sustentabilidade.

Dessa forma, os dados das unidades que foram abordadas mais frequentemente e aquelas cujos consumos são mais significantes, como das unidades de Mucuri, Imperatriz, Limeira e Suzano, disponíveis no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Consumo de água total das unidades da indústria Suzano, 2014 a 2018.



Fonte: Relatório de Sustentabilidade Suzano, 2014 a 2018.

De acordo com os dados de consumo de água do Gráfico 3, é evidente que o consumo total de água é substancialmente superior na unidade de Mucuri. Durante o período observado os valores de consumo de água mantiveram-se em patamares similares, atingindo o máximo no ano de 2016, com consumo de 56.026.806 m³/ano, até que em 2017, reduziu-se cerca de 7%. Essa redução observada de 2016 a 2017, segundo o relatório de sustentabilidade, foram recirculada cerca de 6,2 milhões de metros cúbicos de água em 2017, valor esse superior a 44% do total recirculado no ano anterior.

Seguida da unidade de Mucuri, tem-se a unidade de Imperatriz, que de 2014 a 2017, apresentou valores crescentes de consumo de água, até atingir o máximo de 38.920.095 m³/ano, aumento 39,7% em comparação ao início do período analisado, 2014. Em 2017, foi reportado que cerca de 4.302.914 m³ de água foram reutilizadas na unidade.

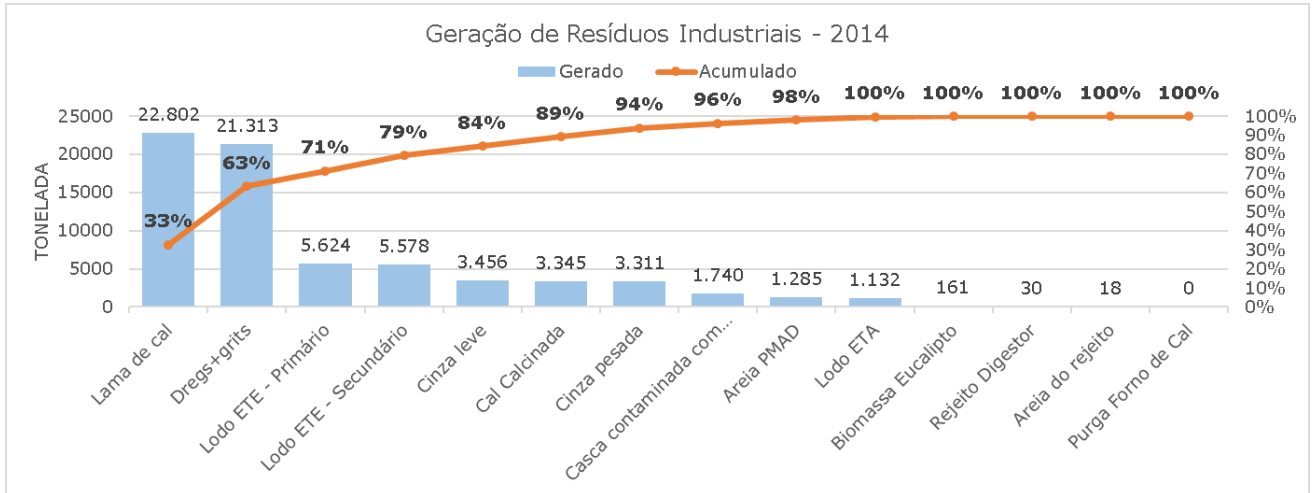
Já o consumo das unidades de Limeira e Suzano, apresentam valores similares entre si, próximos de 25.000.000 m³, sem variações significativas no período.

6.2 RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

6.2.1 DIAGNÓSTICO - Veracel

A Veracel, produtora de celulose, disponibiliza anualmente Relatórios de Sustentabilidade, nos quais contém informações importantes sobre os resíduos industriais gerados e suas quantidades. Segundo esses relatórios, os resíduos gerados nos anos de 2014, 2015, 2016, 2017 e 2018 estão dispostos nos Gráficos 4, 5, 6, 7 e 8, respectivamente:

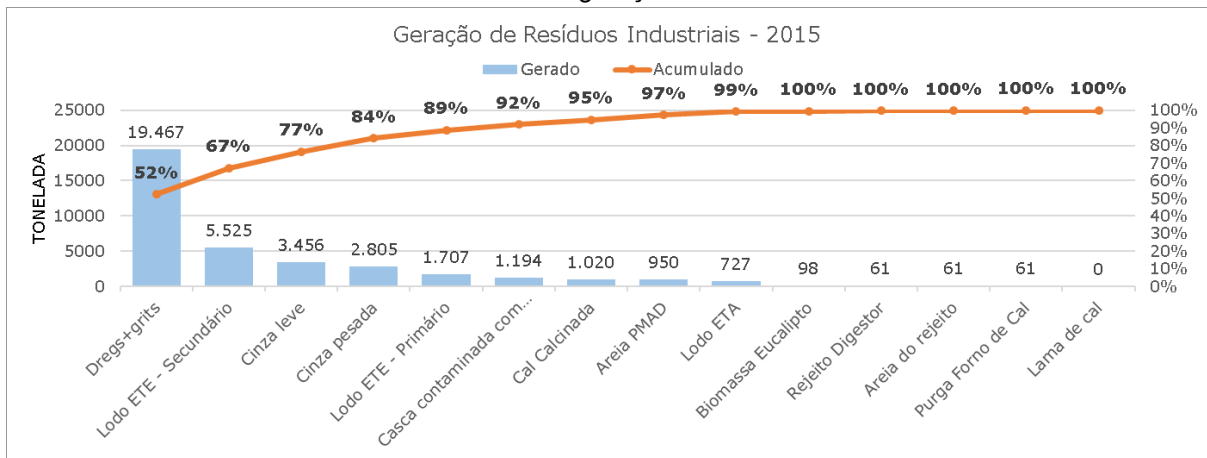
Gráfico 4 - Gráfico de Pareto da geração de resíduos no ano de 2014.



Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel, 2014.

No Gráfico 4, percebe-se que a geração total foi de 69.747 toneladas e o resíduo Lama de Cal (33%) foi gerado em maior quantidade no ano de 2014, seguido pelo dregs+grits (30%). Pelo gráfico de Pareto, observa-se que 80% de todos os resíduos gerados incluem a lama de cal, dregs+grits e os lodos de ETE primário e secundário.

Gráfico 5 - Gráfico de Pareto da geração de resíduos no ano de 2015.

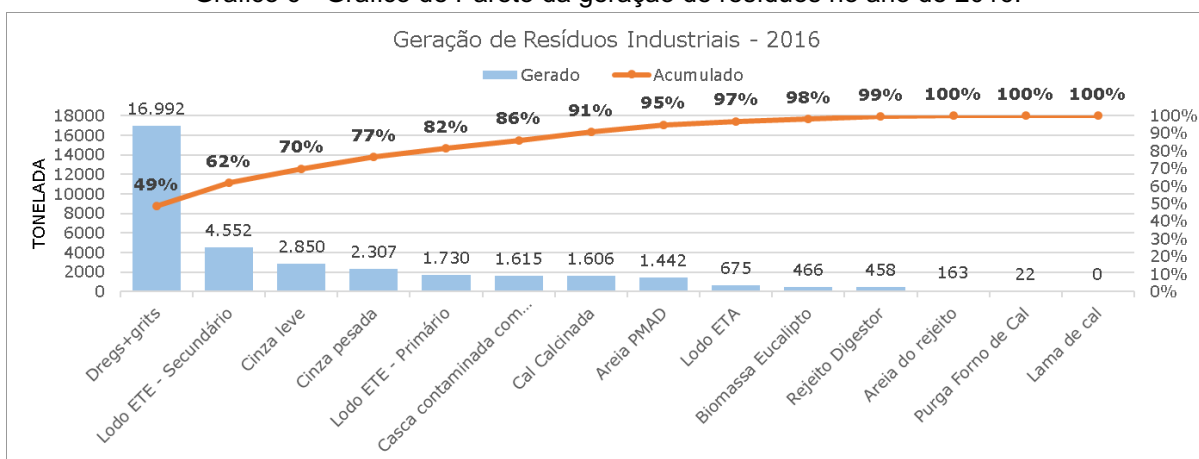


Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel, 2015.

No Gráfico 5, percebe-se que a geração total foi de 36.518 toneladas, quase metade da geração do ano anterior, e diferente de 2014, a lama de cal não foi gerada. O contrário ocorre para o resíduo oriundo da purga do forno de cal, que não houve geração no ano anterior.

Com o diagrama de Pareto, verifica-se que 80% da composição dos resíduos eram formados por dregs+grits, lodos e cinzas pesada e leve. Essa composição mostrou maior diversidade do que o ano de 2014.

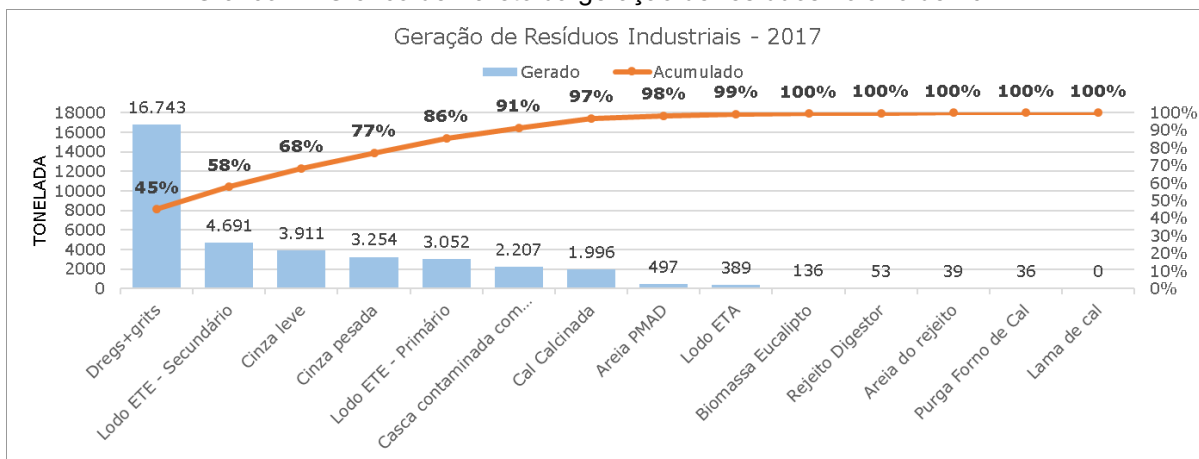
Gráfico 6 - Gráfico de Pareto da geração de resíduos no ano de 2016.



Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel, 2016.

A quantidade gerada de resíduos industriais em 2016, conforme o gráfico 6, foi de 34.874 toneladas, mostrando redução de 4,5% em relação ao ano anterior. Os resíduos gerados em maior quantidade (aproximadamente 80%) foram os dregs+grits, os lodos de ETE primário e secundário e as cinzas leve e pesada. A lama de cal, tão abundante em 2014, não foi gerada em 2016.

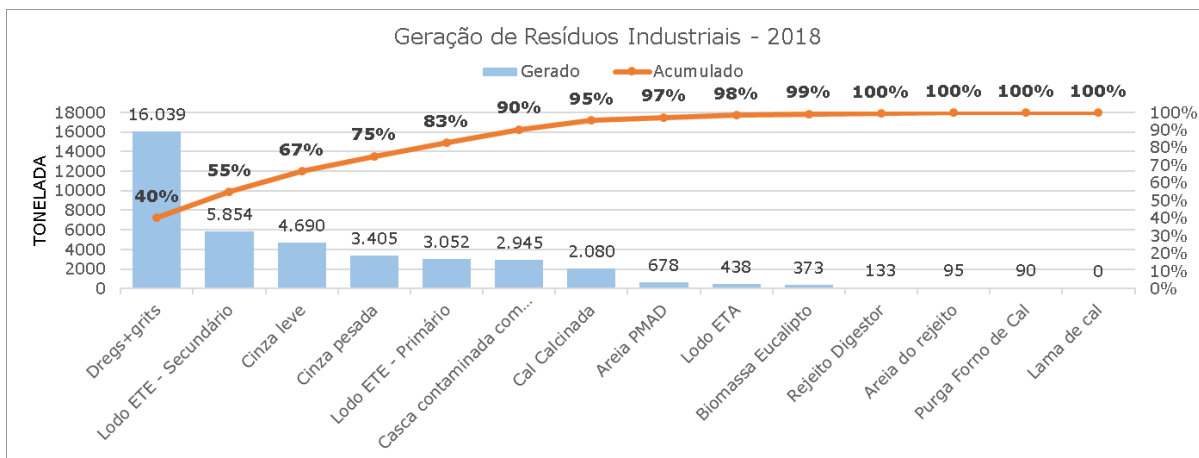
Gráfico 7 - Gráfico de Pareto da geração de resíduos no ano de 2017.



Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel, 2017.

No ano de 2017, no gráfico 7, é possível constatar que houve redução na geração, cerca de 2100 toneladas a mais em relação a 2016. Ainda que a geração tenha sido ligeiramente menor, os tipos de resíduos que geraram as maiores massas continuaram idênticas ao ano anterior.

Gráfico 8 - Gráfico de Pareto da geração de resíduos no ano de 2018.

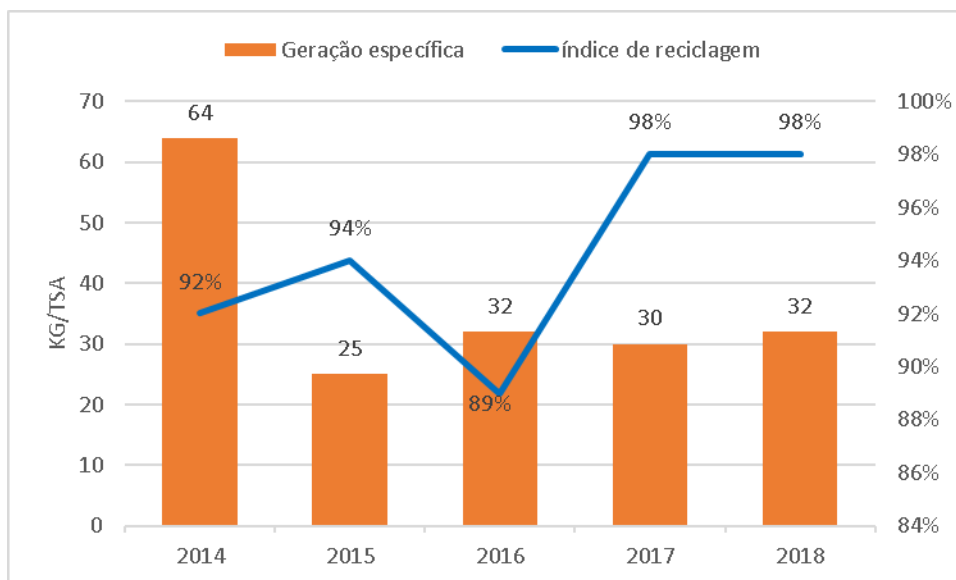


Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel, 2018.

Os dados de 2018, observados no gráfico 8, evidenciaram cerca de 3200 toneladas a mais de resíduos industriais gerados em relação à 2017, ainda que a quantidade de dregs+grits tenha reduzido (4,2%). No entanto, os outros resíduos aumentaram sua geração.

De forma geral, dregs+ grits, lodos primário e secundário, e cinzas foram os resíduos gerados em maior quantidade. Porém, as reduções de geração de resíduos observadas no histórico levantado, de 22.000 ton. para a faixa de 16.000 a 17.000 ton., necessitam da análise associada a produção de celulose em conformidade com o gráfico 9.

Gráfico 9 - Gráfico de geração de resíduos por tonelada de celulose produzida (eixo principal) e índice de reciclagem (eixo secundário) nos anos de 2014-2018



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade da empresa Veracel 2015 e 2018.

Os resultados do gráfico 9 associados com as informações dos gráficos 4, 5, 6, 7 e 8, permite perceber que em 2014 a geração de resíduos discrepante em comparação aos anos posteriores, não ocorreu devido ao aumento da produção de celulose, e sim por sua geração específica elevada. Ou seja, havia uma geração de 64 ton. de resíduos por ton. de celulose produzida em 2014 que foi reduzida para valores próximos de 32 kg em 2018.

No ano de 2017, foi constatado redução da geração de resíduos (no Gráfico 7), em aproximadamente 2131 toneladas, 6% em relação ao ano de 2016. Além disso, a geração específica de resíduos também reduziu, cerca de 2 toneladas de resíduos por tonelada de celulose inferior ao ano de 2016. Esse cenário advém de políticas ambientais internas visando minimizar os impactos ambientais derivados de cada tonelada de celulose produzida. Desta forma, o gerenciamento e as alternativas de reciclagem devem acompanhar o processo industrial de produção de celulose.

No guia técnico ambiental da indústria de papel e celulose – série P+L (CETESB, 2008) foi estimado que a geração de resíduos para as fábricas brasileiras é de aproximadamente 150 kg/t de produto. Quando comparado aos valores de geração de resíduos de 32 kg/t de produto da empresa Veracel em 2018, percebe-se que nesse intervalo de 10 anos, a geração de resíduos esperada foi reduzida em mais de 100 toneladas

Além dessa redução na geração de resíduos sólidos, o índice de reciclagem aumentou ao longo do tempo, com exceção do ano de 2016, mostrando que alternativas têm sido encontradas para o uso dos resíduos gerados. Segundo o Relatório de 2018, as alternativas aderidas pela empresa para os resíduos foram:

Tabela 8 - Reciclagem dos resíduos industriais.

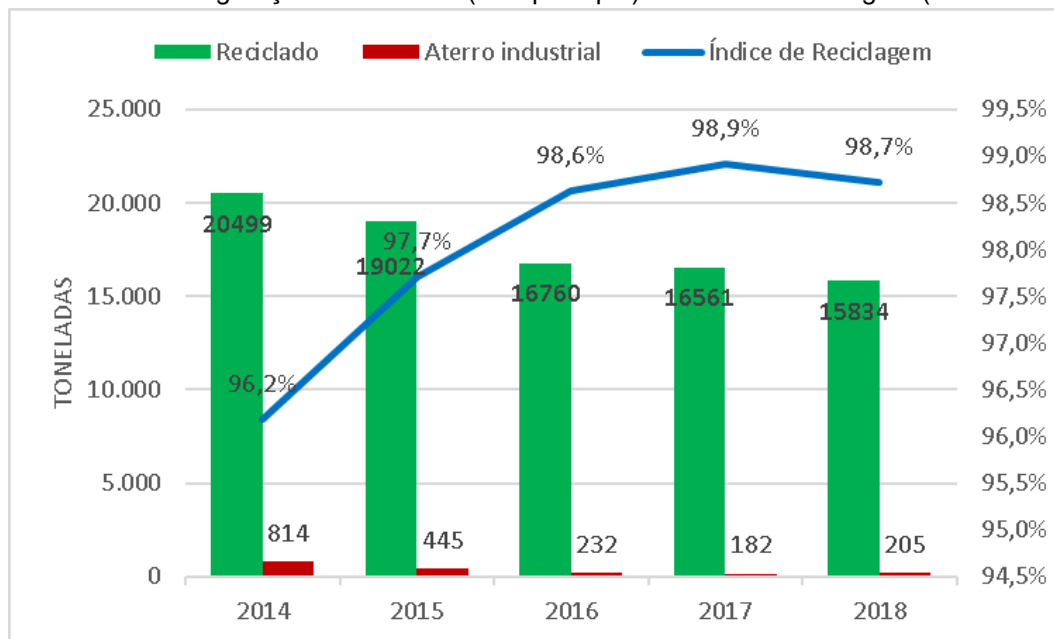
Tipos de Resíduos	Destinação
Dregs e Grits	Corretivo de solo
Casca contaminada com óleo	Substrato para planta
Areia do pátio de toras	Recuperação de Jazidas
Cinza pesada (areia CF)	Recuperação de Jazidas
Lodo ETA	Cobertura do aterro
Biomassa de eucalipto	Substrato para planta
Lama de Cal	Corretivo de solo
Lodo Secundário	Fertilizante
Lodo primário	Reciclagem
Cinza Leve	Corretivo de solo
Purga do precipitador eletrostático	Corretivo de solo

Fonte: Relatório de Sustentabilidade 2018 - Veracel.

6.2.1.1 DREGS E GRITS

Os resíduos Dregs e Grits são utilizados como corretivo de solo pela indústria Veracel. Entre os anos de 2014 a 2018, é possível visualizar a redução da geração desses resíduos e o crescente aumento da sua reciclagem e, conseqüentemente, a menor quantidade destes resíduos para o aterro industrial como destino final (gráfico 10).

Gráfico 10 - Gráfico de geração de resíduos (eixo principal) e índice de reciclagem (eixo secundário).

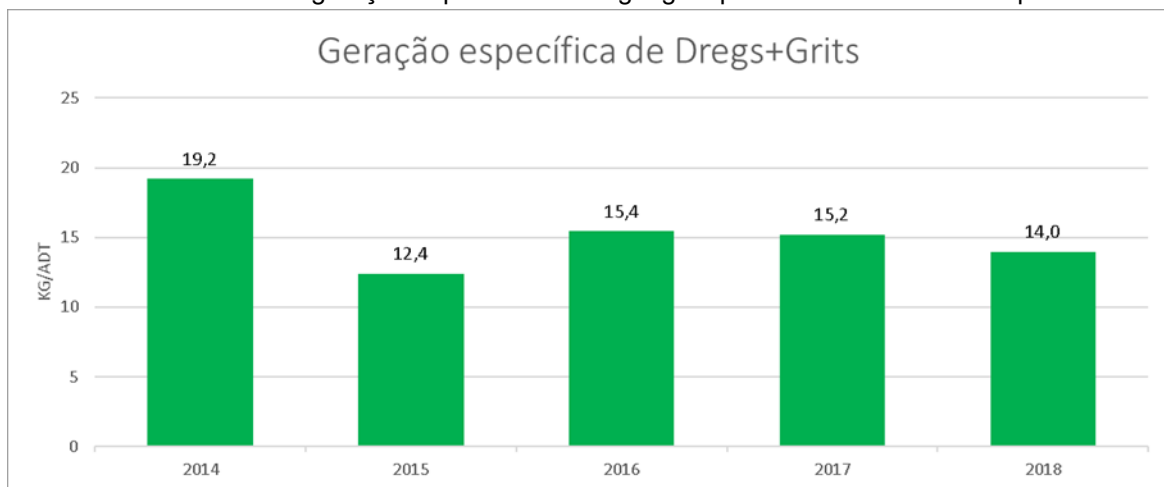


Fonte: Relatórios de Sustentabilidade da empresa Veracel 2015 e 2019.

Em relação a geração dos resíduos dregs+grits no processo produtivo, observa-se que em 2014 para cada tonelada de celulose era gerado cerca de 19 kg desses resíduos, já em 2018 houve uma grande redução, cerca de 5 kg de resíduo/t, que apresentou 23%. Isso evidencia ações no processo de produção que resultaram na minimização da geração de resíduos.

O gráfico 11 evidencia que 2015 foi o ano no qual a geração específica de dregs+grits atingiu melhor resultado. Foi também nesse ano atingido o melhor desempenho na geração de resíduos sólidos, como evidenciado anteriormente no Gráfico 9.

Gráfico 11 - Gráfico de geração específica de dregs+grits por tonelada de celulose produzida.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade da empresa Veracel 2015 e 2019.

6.2.1.2 LODOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Para o gerenciamento dos lodos de estação de tratamento de água residuária, o lodo primário foi 100% reaproveitado sendo destinado às fábricas de papel. O lodo biológico, também 100% reciclado, foi aderido junto a biomassa de eucalipto, e aplicado ao solo com o objetivo de repor os componentes orgânicos. No gráfico 12, é possível verificar que a geração anual de lodo primário é bastante reduzida em comparação com o dregs e grits.

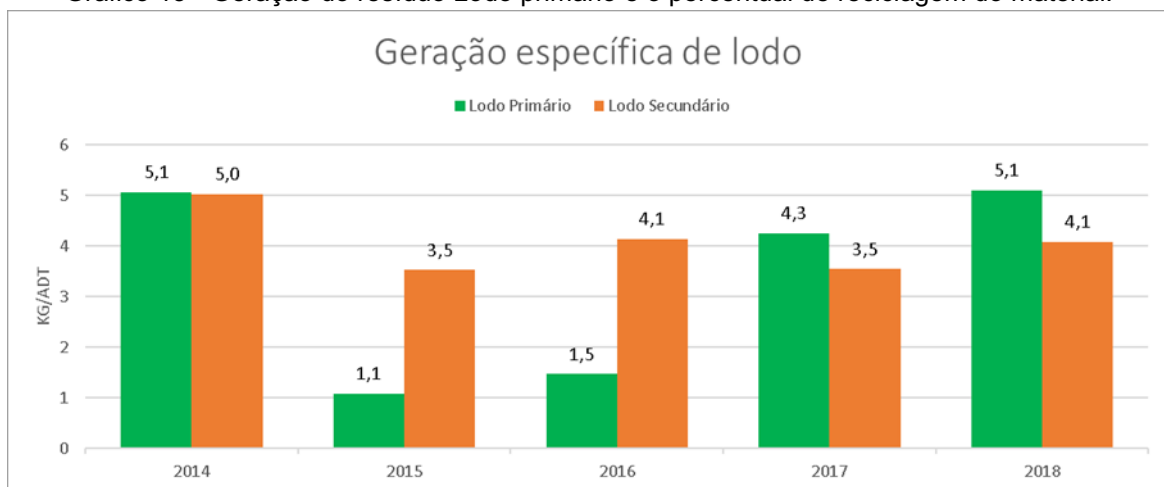
Gráfico 12 - Geração do resíduo Lodo primário e o percentual de reciclagem do material.



Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel (2015-2019).

A geração do lodo secundário é quantitativamente similar à de lodo primário, com exceção dos anos de 2015 e 2016, na qual a geração de lodo primário foi bastante inferior, tanto que no gráfico 13, observa-se que a geração de lodo primário foi de 1kg para cada tonelada de celulose.

Gráfico 13 - Geração do resíduo Lodo primário e o percentual de reciclagem do material.



Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel (2015-2019).

Em relação a produção de celulose, a cada tonelada produzida, cerca de 5-10 kg de lodo são geradas.

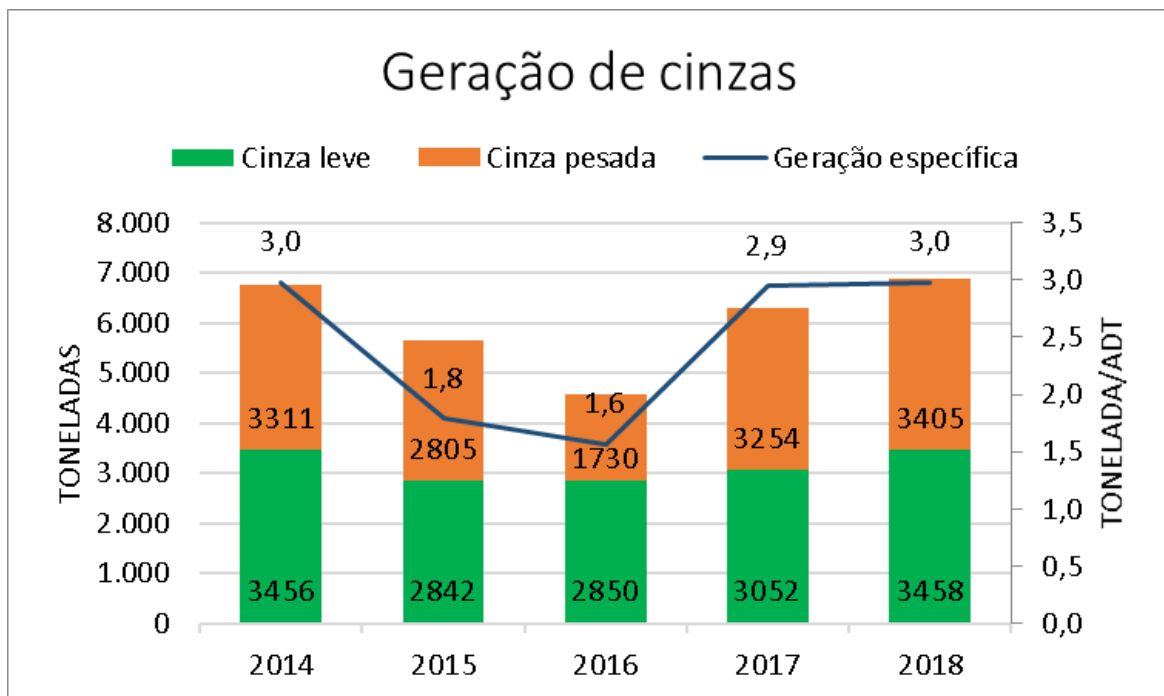
6.2.1.3 CINZAS

A cinza leve corresponde ao resíduo gerado da queima de biomassa na caldeira de força e é destinada para a produção de corretivo de solo.

Já a cinza pesada é oriunda do fundo da caldeira de força, e, portanto, contém areia, sendo destinada para a recuperação de jazidas. Essa prática é aplicada desde 2013, resultando na redução considerável de resíduos industriais destinados para o aterro industrial.

As gerações de cinzas, leve e pesada, nos últimos 5 anos podem ser observadas no gráfico 14:

Gráfico 14 - Geração do resíduo cinzas (eixo primário) e o a geração específica (eixo secundário).



Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel (2015-2019).

Como desde 2013 nenhuma das cinzas geradas no processo são enviadas para aterro industrial, o índice de reciclagem desse resíduo é de 100%. A geração específica, ou seja, em relação a produção de celulose, apresenta o mesmo comportamento dos resíduos Dregs+Grits e Lodos de ETE no qual observa-se uma redução no ano de 2015. No entanto, diferente dos outros resíduos citados, a menor geração de cinzas a cada tonelada de celulose produzida ocorreu no ano de 2016, com 1,6 tonelada/t de celulose.

6.2.2 ESTUDOS DE APROVEITAMENTO, RECICLAGEM E REUSO DOS RESÍDUOS

No processo produtivo de uma indústria é gerado o material desejado além disso, resíduos sem valor agregado ao processo. Em indústrias de celulose, a destinação imprópria de resíduos pode trazer diversos impactos ambientais e sociais os quais resultam em gastos elevados para a remediação das consequências resultantes do gerenciamento de resíduos inadequado.

De qualquer forma, a melhor estratégia para os resíduos é a sua minimização quando possível, senão técnicas de recuperação, reuso e reciclagem devem ser aplicadas dentro ou fora do processo industrial (CETESB, 2008). Com o progresso tecnológico, muitos estudos surgiram e muitas empresas têm procurado alternativas ambientalmente vantajosas para a destinação do resíduo e adicionalmente, agregar valor econômico a eles (BORGES et al, 2016).

6.2.2.1 DREGS E GRITS

Os dregs e grits, abordados anteriormente no item 4.4.2.2, são resíduos minerais, provenientes da clarificação do licor verde e da conversão do óxido de cálcio para hidróxido de sódio, respectivamente.

Dentre os estudos avaliados, foram encontradas as seguintes possibilidades de valorização dos resíduos, conforme a Tabela 9.

Tabela 9 - Alternativas de utilização de dregs+grits

Principais vias de valorização de dregs	Autores	Estudo
Reaproveitamento na agricultura	Soares (2018)	Economia Circular na Indústria de Celulose tipo Kraft: aproveitamento de resíduos dregs e grits.
	Matias (2012)	Análise do potencial de valorização dos resíduos de licor verde da Indústria de pasta de papel.
Produção de clínquer	Torres (2016)	Incorporação de dregs e grits de fábricas de polpa celulósica Kraft ao clínquer para a produção de cimento portland
Processo de compostagem	Barreto (2008)	Resíduos de indústria de celulose e papel na fertilidade do solo e no desenvolvimento de eucalipto.
Produção de argamassa	Zanela (2011)	Aproveitamento dos resíduos da indústria de Celulose e papel em argamassa mista de revestimento interno.
Estabilização de resíduos de minas	Matias (2012)	Análise do potencial de valorização dos resíduos de licor verde da Indústria de pasta de papel.

Fonte: Autoria própria

a) Reaproveitamento da Agricultura

O trabalho de Soares (2018) abordou a aplicação destes resíduos como fertilizante e como corretivo para solos ácidos, relatando esse último ser uma das alternativas mais estudadas e com aplicação já realizada por algumas empresas, como o caso da Fibria, com resultados satisfatórios para a substituição do calcário. A autora também relata a importância de se realizarem análises físico-química para verificar se os contaminantes como metais pesados estão abaixo do permitido pela legislação estabelecida pela Secretaria de Defesa Agropecuária (DAS) nas Instruções Normativas (IN) Nº 24/2006 e 7/2016.

Matias (2012) apresentou trabalho similar para aplicação de dregs como material alcalinizante de solos, devido à sua capacidade de neutralização da acidez do solo na faixa de 30 a 40%. Nesse trabalho, foi mostrado resultado de que a aplicação de 13 t/ha de dregs atingem o mesmo aumento de pH que 10,5 t/ha de calcário. Adicionalmente, o resíduo pode ser uma fonte de nutrientes para as plantas como cálcio, magnésio e sódio capazes de melhorar a qualidade de solos agrícolas.

b) Produção de Clínquer.

Torres (2016) buscou analisar a viabilidade técnica da incorporação de dregs e grits para substituir parte do clínquer, material sintético composto essencialmente de silicatos de cálcio, filito, quartzito e magnetita; utilizado na produção de cimento Portland. Segundo o estudo, é viável a substituição de cerca de 10% do clínquer pelo dregs ou grits com resultados adequados, para que a resistência à compressão e o módulo de elasticidade atendam a norma brasileira.

c) Processo de Compostagem

Barreto (2008) realizou um experimento no qual foi aplicado uma mistura, formado com lodo proveniente de descarte do lodo ativado (62%), cinzas (8%), dregs (11%), casca (15%), grits (3%) e outros resíduos em menores proporções, que após 120 dias de compostagem foi aplicado no solo. Os resultados demonstraram que a mistura dos resíduos foi eficaz para correção da acidez, benéfico para o crescimento de eucalipto além de elevar os teores de cálcio e magnésio do meio suporte.

d) Produção de Argamassa

Zanella (2011), verificou a viabilidade financeira e as vantagens da aplicação do composto dregs-grits na produção de argamassa. O fundamento do experimento foi substituir a areia pelo composto em diferentes proporções, com evidência de que a substituição de 20% da areia não prejudica as propriedades de resistência à tração.

Ainda que outros testes devam ser realizados, a proposta de utilização do composto dregs-grits na área de construção civil é promissora economicamente, visto que o custo de disposição do resíduo em aterro, cerca de R\$250.000,00 para cada 2000 toneladas no levantamento realizado na Fibria, seria evitado.

e) Estabilização de Resíduos de minas

Uma via de utilização do resíduo dregs é a aplicação para a estabilização de resíduos de minas, podendo também ser aplicados em conjunto com outros resíduos de fábricas de celulose, como lamas e cinzas. Matias (2012) abordou um estudo no qual foi avaliada a utilização do resíduos de fábrica de celulose, de 3 indústrias diferentes, e verificou que para a redução da condutividade hidráulica, a melhor relação foi de 70:30 de resíduos de minas para resíduos de fábrica de celulose (composição = 60% dregs + 30 % cinzas + 10% lodo), atingindo resultados de redução de 800 vezes. Com esse trabalho, foi possível também constatar que o resíduo dregs é eficaz na imobilização de cobre, com o melhor resultado para a proporção 90:10 de resíduos de minas para dregs.

6.2.2.2 LODOS DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES

Os lodos, conforme abordados no item 4.4.2.3, são resíduos úmidos e pastosos gerados no tratamento de efluentes que envolvem processos físicos, biológicos seguidos de processos químicos. Dentre os estudos avaliados que abordam a valorização desses resíduos, foram levantadas as seguintes alternativas:

Tabela 10 - Alternativas de utilização de lodos

Principais vias de valorização de dregs	Autores	Estudo
Combustível para Geração de Energia	Borges et al (2016)	Valorização econômica e ambiental dos resíduos: Um estudo de caso da Fibria-MS celulose sul mato-grossense.
	Imai (2010)	Aproveitamento energético do lodo de ETEI de indústria de papel no município de Correia Pinto/SC.
	Almeida (2019)	Avaliação técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de lodos como combustível em fábrica de celulose.
	Guaitolini	Estudo da queima de lodo secundário

	(2014)	da indústria de celulose em caldeira de leite fluidizado.
Produção de clínquer	Simão (2016)	Desenvolvimento e aplicação de Ecoclíquer obtido a partir de resíduos do setor de papel e celulose.
	Gomes (2017)	Obtenção de clínquer de baixa energia a partir de resíduos da indústria de papel e celulose.
Processo de compostagem	Foelkel (2010)	Resíduos Sólidos Industriais do processo de fabricação de celulose e papel de eucalipto. Parte 3: Lodos & Lodos.
Produção de cerâmica estrutural	Klizke (2011)	Utilização de Lodo Primário de indústria de papel na produção de cerâmica vermelha.

Fonte: Autoria própria

a) **Combustível para Geração de Energia**

Borges et al (2016) realizou um trabalho com resíduos industriais da fábrica de celulose Fibria, localizada no Mato Grosso do Sul, e abordou a valorização dos lodos secundário e primário, cujas análises dos resíduos mostraram que possuem poder calorífico superior de 17,3 e 15,4 MJ/kg, respectivamente.

Com esses valores de poder calorífico, foi confirmado a possibilidade de queima para geração de energia em associação com a biomassa de madeira. A contribuição da queima de subprodutos como lodo biológico, lodo primário e rejeitos de celulose (base seca) na geração de energia da fábrica de celulose, seria em torno de 105.663 GJ, correspondente a 4,7% da energia total.

Além disso, no trabalho de Borges et al (2016), foi realizado a avaliação da viabilidade econômica da queima dos lodos junto com a biomassa, visto que ao utilizá-los reduz-se o uso dos combustíveis fósseis. Foi constatado que o uso dos resíduos lodo biológico e lodo primário, evitaram gastos de 2,4 e 1,1 milhões R\$/Mês, em comparação de uso de apenas de combustíveis fósseis.

Imai (2010) em seu trabalho buscou: a) verificar a eficácia da inclusão do lodo de ETE de indústria de papel tissue para queima junto à biomassa nas caldeiras; b) analisar o efeito dessa adição nas emissões atmosféricas e c) avaliar a viabilidade econômica da aplicação do lodo junto a biomassa, em comparação com os custos de transporte e disposição em aterro. Com isso, foi constatado que a adição de até 15,9%

de lodo na composição da biomassa não acarretou prejuízos na eficiência de geração de vapor, podendo gerar economia de R\$20.000,00/mês, atualmente equivalentes a aproximadamente R\$ 46.3000,00/mês. No entanto, ainda que a adição do lodo não tenha excedido os limites de emissões atmosféricas o teor de cinzas do resíduo é mais elevado, aumentando assim a geração de resíduo de queima. Em um teste realizado, a queima da biomassa+lodo em diferentes proporções, resultaram nas seguintes gerações de cinzas:

Tabela 11 - Geração de cinzas em diferentes proporções de biomassa+lodo para queima.

Mês	Biomassa (t)	Lodo (t)	Geração de Cinza (t)
1	2141	340	75,44
2	1924	243	80,86
3	2038	0	25,20
4	1858	0	24,48
5	2084	91	43,50

Fonte: Adaptado de Imai (2010)

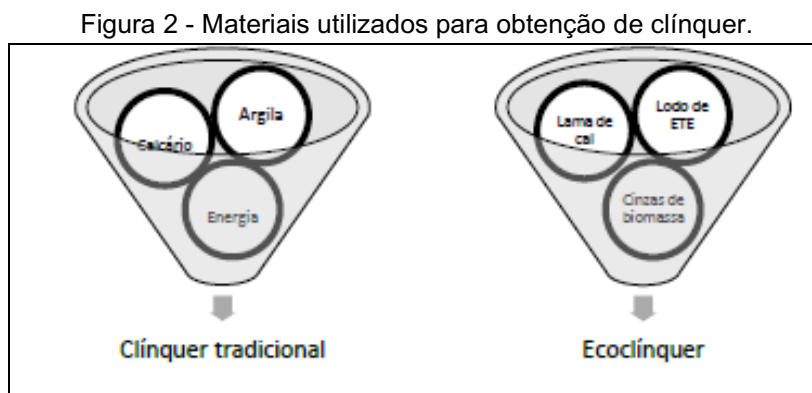
Almeida (2019), também trabalhou com a queima de lodos em caldeira de biomassa e constatou que a aplicação do lodo na proporção de 42% para cada 58% de biomassa não afetou a produção de vapor. Do ponto de vista econômico, ao valorizar os lodos, aumenta-se o tempo de vida útil do aterro industrial em aproximadamente 6 vezes. Além disso, os custos de movimentação dos resíduos para destiná-los ao aterro é reduzido. Dessa forma, os investimentos utilizados para adequar a queima dos resíduos obtiveram o período de retorno em 3,5 anos.

Guaitolini (2014), avaliou uma alternativa para reduzir o descarte de lodo secundário em aterros industriais, buscou a alternativa de utilizar esse resíduo na caldeira de leiteo fluidizado para substituir o óleo combustível ou os cavacos de eucaliptos utilizados, misturando-o com a biomassa. Ainda que a mistura do lodo secundário com a biomassa tenha acarretado no aumento do teor de umidade de 23,7% e, conseqüentemente a redução do poder calorífico em 1,79% a geração de vapor não foi impactada, e a produção foi de 89,14 t/h (apenas biomassa) para 95,23 t/h (biomassa+lodo).

Além disso, foi verificado as emissões atmosféricas e visto que a adição do lodo à biomassa resulta no aumento de emissão média de material particulado (MP) de 0,78 para 8,65 ppm e enxofre total reduzido (TRS), de 4,98 para 6,74 ppm. No entanto, ainda que tenha tido esse aumento nas emissões de MP e TRS, os parâmetros se encontravam dentro do permitido pela CONAMA, concluindo que essa ideia é interessante para a indústria de Papel e celulose do ponto de vista ambiental para a redução da ocupação de espaço em aterro.

b) Produção de Clínquer

Simão (2016) abordou a produção de clínquer, silicatos de cálcio hidratados, utilizados pelas indústrias cimentícia por meio da utilização de resíduos de indústria de celulose, como lama de cal, cinza de biomassa e lodos de ETE com a finalidade de substituir determinadas matérias primas, conforme a Figura 5.



Fonte: Simão (2016).

Os resultados obtidos evidenciaram que o uso dos resíduos de celulose para a obtenção de clínqueres é possível, tanto ambientalmente como tecnicamente, devido a composição desses materiais que contém os principais constituintes para o processo de clínquerização. Porém, são necessários outros experimentos para verificar a durabilidade do produto e ajustes na composição dos materiais para obter a melhor proporção entre os resíduos.

Um ponto interessante abordado no trabalho de Simão (2016) foi a instabilidade do resíduo Lama de Cal, que pode apresentar variações no pH e ser classificado como resíduo Classe I – Perigoso. Se for o caso, a obtenção de documentação perante ao órgão ambiental pode ser mais burocrático.

Como alternativa, foi sugerido que a pré-mistura dos resíduos, que a partir daí deixam de ser resíduos e são considerados subprodutos, facilitando o processo de licenciamento.

Gomes (2017), similarmente ao trabalho de Simão (2016), buscou a valorização dos resíduos de papel e celulose (grits, cinzas, lodos de ETE) para a obtenção de clínquer de cimento de Portland e de belítico, clínquer de baixa energia na qual há menor consumo de carbonatos, e portanto, redução de emissão de CO₂. Além disso,

podem ser produzidos em temperaturas inferior à 100 °C em relação ao de Portland (1350 °C ao invés de 1450 °C).

Com a caracterização das matérias primas, resíduos da indústria de celulose, foi evidenciado que os componentes químicos essenciais (SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃) estavam presentes, e ressaltado a importância da valorização do resíduo para o meio ambiente, do ponto de vista da extração da matéria-prima tradicionalmente usada e dos impactos que podem resultar da destinação final desses resíduos.

No entanto, um possível empecilho de aplicação desse estudo em escala industrial é a possibilidade de acarretar danos nos fornos rotativos utilizados para a produção do clínquer em função das elevadas concentrações de cloreto, que segundo ao autor, em concentrações superiores a 0,1% em massa, pode gerar cloretos livres capazes de corroer o aço. Na caracterização dos resíduos no trabalho, as concentrações de cloretos para grits, cinzas e lodo foram, respectivamente, <50, 85,9 e 9,0 mg/L.

c) Compostagem

Foelkel (2010) relata que a melhor forma de tratar um lodo é por meio da compostagem, pois é uma técnica que permite a estabilização dos resíduos, reduzindo e até eliminando patógenos que oferecem riscos à saúde. Adicionalmente, a compostagem oferece a alternativa de se produzir fertilizantes orgânicos para aplicação na agricultura, silvicultura e pecuária.

Quando se trata dos lodos provenientes do tratamento de efluentes de indústrias de celulose, Foelkel (2010) avalia que a matéria orgânica e nutrientes são variáveis, mas em geral apresentam bom potencial para a compostagem. O teor de carbono orgânico varia entre 20 e 50% do peso seco do lodo, já o nitrogênio pode apresentar teor de 1,5 a 2,5% para lodo biológico, atingindo relação C/N, (parte de carbono para cada parte de nitrogênio, de 15 a 40, podendo obter valor próximo a relação ideal para compostagem que segundo Pereira Neto (2007) é de 30 partes de carbono para cada 1 parte de nitrogênio. Já para lodos com muitas fibras celulósicas, a relação C/N pode chegar a valores de 60 a 100 (FOELKEL, 2010)

Geralmente, para a reposição de cálcio, potássio, cálcio, magnésio e micronutrientes, é comum as indústrias de papel e celulose misturarem o lodo com outros resíduos gerados, como dregs, grits, cinza de caldeira de força, lama de cal, e principalmente casca de madeira, esse último que favorece o processo de aeração devido ao seu maior tamanho.

d) Produção de cerâmica estrutural

Klizke (2011) ESTUDOU o desenvolvimento da aplicação de lodo primário da ETE de indústria papelreira para produzir cerâmica vermelha em conjunto com argila natural e resíduos de vidro. Nesse estudo, Klizke (2011) comprovou que é possível obter material cerâmico com os resíduos citados e inclusive, com propriedades mecânicas (módulo de resistência à flexão em três pontos, densidade aparente, absorção de água e retração linear) superiores aos convencionais de forma a atender as normas brasileiras.

6.2.2.3 CINZAS DA CALDEIRA DE FORÇA

As cinzas conforme abordados no item 4.4.2.2, são resíduos minerais gerados no processo de queima de biomassa de madeira, retirados no fundo da caldeira e nos precipitadores eletrostáticos.

a) Aplicação Agrícola

Sbruzzi (2017) estudou a aplicação das cinzas de biomassa no solo como fonte de nutrientes para o cultivo de feijão e milho, testando diferentes doses por hectare. A ideia do trabalho era verificar também os macronutrientes na planta. Em comparação com o solo antes e depois da aplicação de cinza, os resultados encontrados nesse experimento mostraram que para valores de matéria orgânica, alumínio, cálcio, magnésio, CTC, pH, a aplicação de até 18 t/ha não resultou em diferenças significativas, diferente de outros trabalhos similares. Já o potássio apresentou aumento linear de acordo com a quantidade de cinza aplicada. Para 18 t/ha, houve aumento na concentração de potássio de 26,85 mg/dm³ para 62,38 mg/dm³. Já na planta, o teor de magnésio (Mg) aumentou proporcionalmente a dosagem de cinza, até 9,04 t/ha, e para cálcio, o contrário foi observado. Visando a produtividade dos grãos os resultados evidenciaram que a melhor dose de cinza é de aproximadamente 13 t/ha, desse modo, o resíduo pode ser utilizado como fertilizante no solo, sem trazer danos ao cultivo.

Silva et al. (2013) trouxeram diversas informações obtidas na literatura quanto aos diferentes tipos de utilização do resíduo cinza de biomassa, dentre elas a utilização como condicionante de solo, visando repor nutrientes como potássio, magnésio, fósforo e cálcio; e como corretivo de acidez, ainda que as quantidades de cálcio e magnésio no resíduo sejam inferiores aos corretivos usualmente aplicados na agricultura. O trabalho de Silva et al (2013) procurou verificar a aplicação de cinzas de biomassa como

corretivo de acidez e fertilizante de solo de Lages – SC, em comparação os efeitos do calcário dolomítico.

A caracterização das cinzas, segundo Silva et al. (2013) estão disponíveis na Tabela 12:

Tabela 12 - Caracterização das cinzas, elementos e suas concentrações.

	g/kg								mg/kg							
pH	C	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	Na	Cd	Cr	Ni	Pb
9,7	260	1,6	1,8	13	19	5,3	1	13	1,1	39	100	768	0,3	40	22	4

Fonte: Adaptado de Silva et al (2013).

Os resultados evidenciaram que para o aumento do pH, a cinza não foi tão eficaz visto que seu poder de neutralização é de 7%, e a diminuição do alumínio foi em menor escala, quando comparados ao calcário. No entanto, a cinza mostrou-se uma fonte promissora de potássio para o solo, apresentando aumento na concentração desse elemento após a aplicação de cinza, de 147,36%.

Nascimento (2013), realizou seu trabalho na mesma linha que Silva et al. (2013), com o diferencial do local de aplicação de cinza, em áreas florestais de São Paulo, e estudo de 3 tipos de cinzas de biomassa (denominadas C1, C11 e C17) coletadas em indústrias de papel e celulose do estado de São Paulo. Adicionalmente, o trabalho buscou verificar o efeito de sorção de um tipo de herbicida (imazetapir). O estudo indica que as cinzas C11 e C17 mostraram aumento do pH do solo estudado, que resultou na diminuição da sorção do herbicida, aumentando seu potencial de lixiviação. Já o tipo C1, ainda que não tenha sido vantajoso para correção do pH, é uma fonte de potássio com esperada redução da mobilidade do herbicida, reduzindo as chances desse atingir o lençol freático.

b) Produção de Clínquer

Beruberri (2014) avaliou a valorização do lodo proveniente do tratamento de efluentes, lama calcária e das cinzas volantes, com teores de umidade de 82,83%, 16,94% e 2,21% de teor de umidade, respectivamente. Esse experimento foi realizado com resíduos provenientes das fábricas do grupo Portugcel/Soporcel de Portugal. Constatou-se que os resíduos citados anteriormente apresentavam compatibilidade química, em comparação com os materiais geralmente utilizados na fabricação do clínquer, devido à presença de óxidos (de cálcio, silício, ferro e alumínio).

Nesse trabalho, foram testadas diferentes formulações e verificadas que em termos energéticos, a melhor formulação é a de 1,75% em peso de lodo biológico,

65,48% lama de cal e 32,78% cinzas, dessa forma, o menor valor de umidade foi atingido, 11,80%. Para a indústria, a melhor formulação seria a de que incorpora a maior quantidade de lodo, mas devido a umidade final da mistura, cerca de 69%, é limitante visto que o ideal é valores entre 8 e 20% (BERUBERRI, 2014).

Em relação às cinzas, a presença de cloretos não afetou as características finais do clínquer, visto que eles são eliminados no processo térmico. No entanto, ainda que todas as formulações tenham resultado em valores inferiores a 0,1% em peso, o máximo permitido no cimento Portland, é importante prever as dificuldades de funcionamento do forno, oriundas da volatilização/condensação dos cloretos, formando incrustações. Para prevenir essas incrustações, é preciso desviar parte dos gases gerados. Outro benefício da produção de clínquer utilizando os resíduos industriais foi a temperatura reduzida para sua obtenção, atingindo máxima de 1390°C em comparação à temperatura utilizada na indústria, de 1450°C, resultando em redução de custo (BERUBERRI, 2014)

Meller (2017), assim como Beruberri (2014), avaliou a utilização das cinzas de biomassa, no entanto, ao invés da lama da cal como um dos componentes, foi considerado o grits. Os resultados obtidos foram similares ao trabalho de Baruberri (2014) em relação à compatibilidade de propriedades químicas dos resíduos, como os óxidos de cálcio, silício, alumínio e ferro), conforme a tabela 10:

Tabela 13 - Propriedades dos resíduos grits, cinzas e lodo de ETE.

Elementos	Grits (%)	Cinzas (%)	Lodo ETE (%)
CaO	51,18	3,85	3,62
SiO₂	1,96	43,63	4,63
Al₂O₃	1,84	10,96	9,39
Fe₂O₃	0,34	4,80	0,80

Fonte: Meller (2017).

Outro benefício foi a menor temperatura para a produção do clínquer sintetizado, que foi obtido a 1390°C ao invés do usual obtidos nas indústrias, aproximadamente 1450°C. Assim como os resultados de Beruberri (2014), o trabalho de Meller (2017) se atentou com os teores de cloreto, que nos resíduos estavam com teores de <50, 85,9 e 9,0 mg/L, respectivamente para os resíduos grits, cinzas e lodo de ETE. O autor percebeu que os teores de cloreto quando avaliados isoladamente por resíduo, estavam acima dos limites recomendados (<0,1%), no entanto, após a cliquerização os resultados mostraram valores abaixo desse limite e não influenciaram nas características do produto final. Porém, ainda que esse valor seja inferior ao limite, o autor denota que os clínqueres que a produção em laboratório foi realizada em forno elevatório com saída

de gases, já o de escala industrial é produzido em fornos rotativos, e por isso o cloreto deve ser observado afim de causar danos no equipamento.

6.3 EFLUENTES INDUSTRIAIS

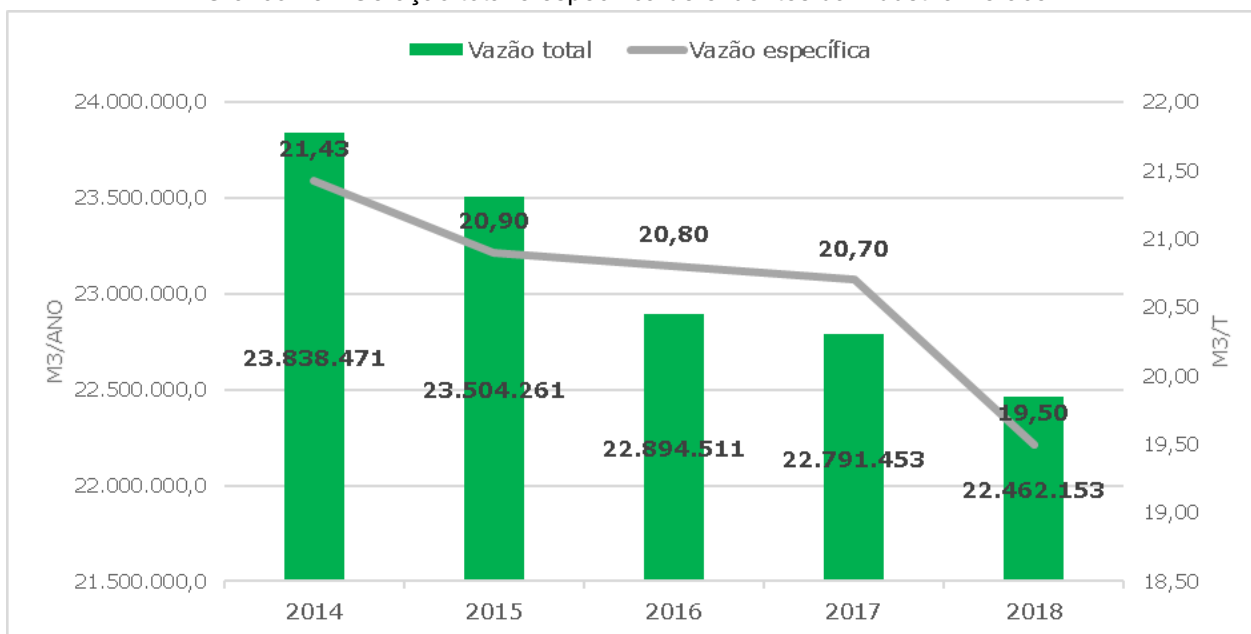
Os efluentes da produção de celulose *Kraft*, usualmente apresentam elevadas concentrações de demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos (SS), ácidos, compostos da lignina, enxofre, cor e causam ecotoxicidade (PEITZ, 2018).

Neste item, é abordada a análise das informações disponibilizadas pelas indústrias de papel e celulose Veracel, Klabin e Suzano quanto as características e geração de efluentes de suas unidades.

6.3.1 Veracel

Segundo o relatório de sustentabilidade da Veracel, o tratamento empregado em sua unidade é de lodos ativados de aeração prolongada. Os dados de geração total e específica, ou seja, por tonelada de celulose, de efluentes estão disponibilizados no Gráfico 15.

Gráfico 15 - Geração total e específica de efluentes da indústria Veracel.



Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel, 2014-2018.

Do Gráfico 15, observa-se que de 2014 a 2018 houve um decaimento gradual na geração de efluente total, e na geração específica de efluente, ou seja, geração a cada tonelada de produto. Dentro desse período observado, em 2018, houve redução de cerca de 6% da geração de efluentes total, quando comparado ao resultado de 2014, totalizando 1.376.318 m³ de efluentes que deixaram de ser produzidos.

Já a geração de efluente a cada tonelada de produto elaborado, decresceu aproximadamente 9% de 2014 a 2018.

Dentre os parâmetros disponibilizados nos relatórios de sustentabilidades, durante o período observado, nota-se que a Veracel mantém constância dos dados e parâmetros apresentados, conforme a Tabela 11.

Tabela 14 - Parâmetros de emissão de efluentes, anuais.

PARÂMETRO (KG/T)	2014	2015	2016	2017	2018
AOX	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
DQO	4,78	5,00	4,76	4,40	4,00
DBO	0,18	0,23	0,20	0,30	0,21
SST	0,33	0,29	0,25	0,29	0,24
NITROGÊNIO	0,04	0,05	0,06	0,08	0,05
FÓSFORO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel, 2014-2018.

Os dados de AOx, resíduos de cloro, não evidencia grandes variações ao longo dos anos, permanecendo com valores de 0,03-0,04 kg AOx/t celulose. Segundo o guia técnico ambiental da indústria de papel e celulose (CETESB, 2008), mesmo em plantas que não utilizam branqueamento a cloro, é esperado a presença de teores de AOx.

Foelkel (2011) traz em seu trabalho, tabelas comparando as performances das fábricas modernas, essas com idades tecnológicas de até 15 anos, com as fábricas de tecnologias consideradas BAT's (Best Available Technologies) e com os valores de recomendações da entidade europeia IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control Bureau) de 2001, ano que o documento referência foi alterado.

Para o parâmetro AOx, percebe-se que os valores da indústria Veracel, encontram-se abaixo do intervalo das fábricas modernas, de 0,1-0,3 kg/t, e os valores de alguns anos atingem o mínimo das fábricas com as BAT's, 0,04-0,07 kg/t. Quando comparado com a recomendação do IPPC, que é bastante abrangente, de valores de AOx inferiores a 0,25 kg/t, que a Veracel atende em todo o período analisado.

Para DQO, obteve-se valores de 4-5 kg/t, no qual a partir de 2015, esse valor passou a ter ligeira redução até atingir o valor mínimo observado no período, em 2018. Esses valores de emissão de DQO por produção de celulose, encontram-se abaixo do intervalo frequentemente observado nas fábricas modernas, que segundo Foelkel (2011) é de 15-20 kg/t, e das recomendações IPPC 2001, 8-23 kgDQO/t. Os valores da Veracel se enquadram nos valores encontrados em fábricas com as BAT's de 3-10 kgDQO/t.

Para DBO, os valores de emissão variaram de 0,18-0,30 kg/t, que assim como observado para DQO, encontram-se abaixo dos intervalos das fábricas modernas (1,0-2,2 kg/t) e das recomendações do IPPC (0,3-1,5 kg/t), e enquadram-se no intervalo de valores encontrados nas fábricas com BAT's, de 0,2-0,4 kg/t.

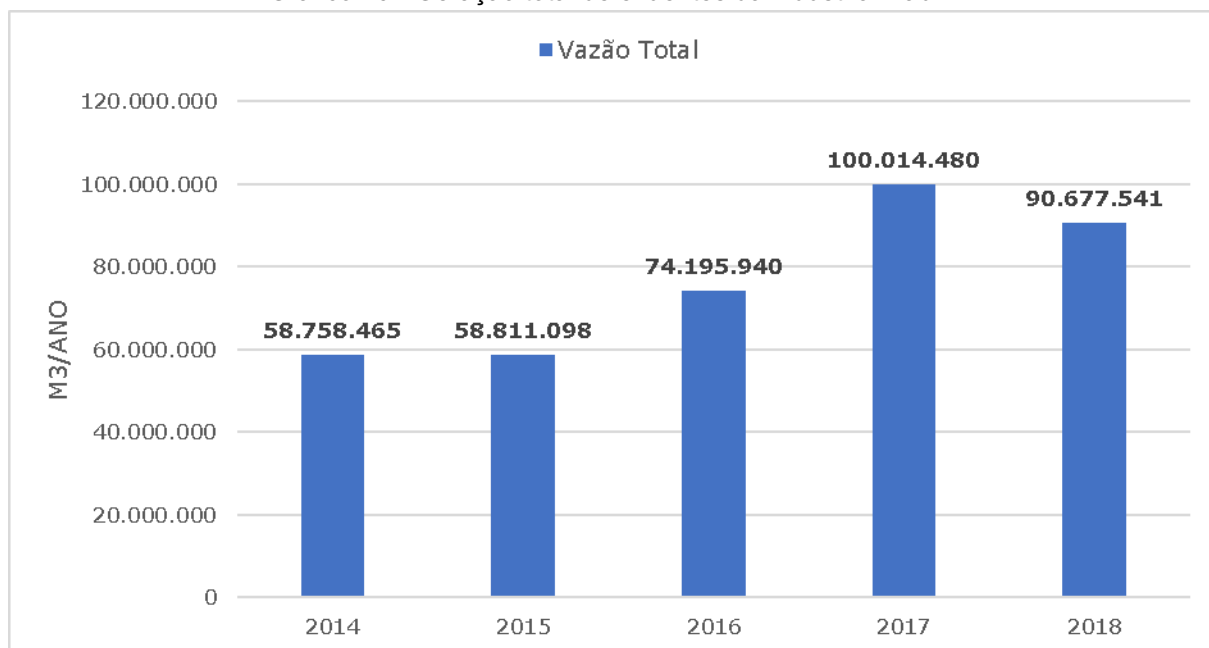
Os valores de emissão de SST variaram de 0,24-0,33 kg/t, e ficaram bem abaixo dos valores encontrados em fábricas modernas (1,5-3,0 kg/t), fábricas com as melhores tecnologias disponíveis (0,4-1,0 kg/t) e das recomendações do IPPC 2001 (0,6-1,5 kg/t).

Assim como visto para DQO e DBO, os resultados da Veracel de nitrogênio se enquadraram no intervalo descrito para as fábricas com as BAT's, que apresentam valores de 0,05-0,10 kgN/t de emitidas, e ficaram abaixo nos valores vistos em fábricas modernas e das recomendações do IPPC, com valores mínimos superiores a 0,15 e 0,1, respectivamente. Já o fósforo, atendeu os três intervalos de valores abordados por Foelkel (2011), e não evidenciou alterações nas quantidades emitidas anualmente.

6.3.2 Klabin

Nos relatórios de sustentabilidade da Klabin, é abordado a geração total de efluentes, conforme gráfico 16.

Gráfico 16 - Geração total de efluentes da indústria Klabin.

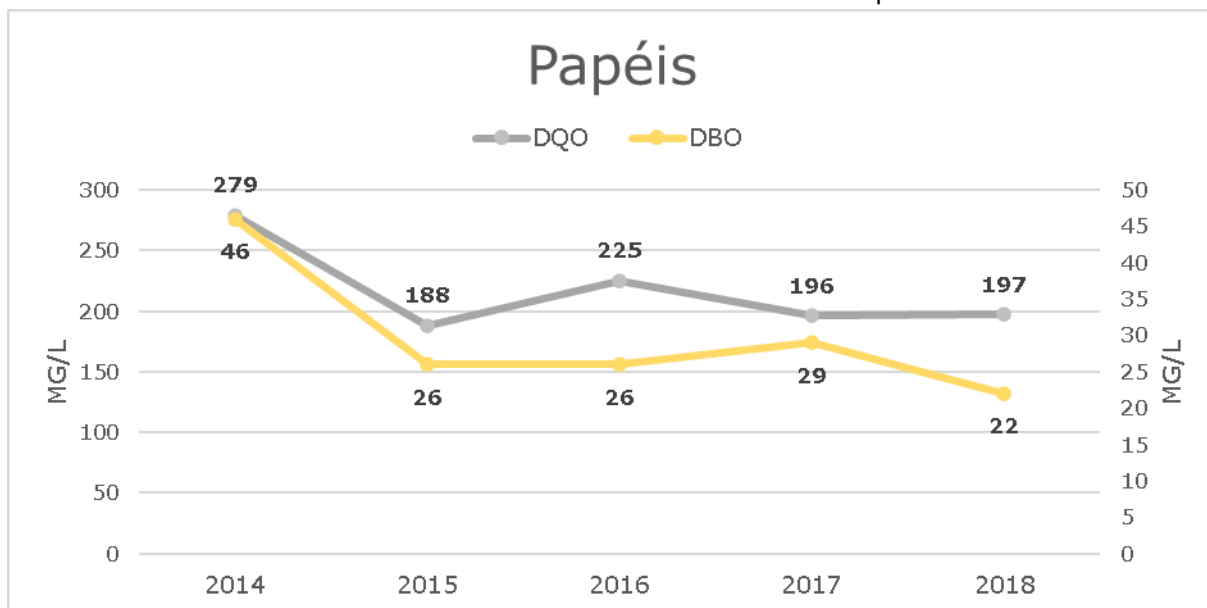


Fonte: Relatório de Sustentabilidade Klabin, 2014-2018.

Nos anos de 2014 e 2015, a geração total de efluentes não apresentou variação significativa, um aumento de cerca de 0,09% em 2015. No entanto, em 2016 o volume total de efluentes cresceu 26,16% devido ao início da operação da nova unidade de celulose, e em 2017, atingiu o valor máximo observado, com aumento de 34,80% em relação ao ano anterior. E em 2018, a geração de efluentes reduziu aproximadamente 9,34%.

Além da geração de efluentes a Klabin disponibiliza as informações de DQO e DBO, em mg/L, e separa os dados das unidades de papéis, nas quais consideram a média dos valores obtidos nas unidades de Angatuba (SP), Correia Pinto (SC), Otacílio Costa (SC) e Monte Alegre (PR), das unidades de celulose, conforme observados nos Gráficos 17 e 18.

Gráfico 17 - Parâmetros do efluente da Klabin Papéis.

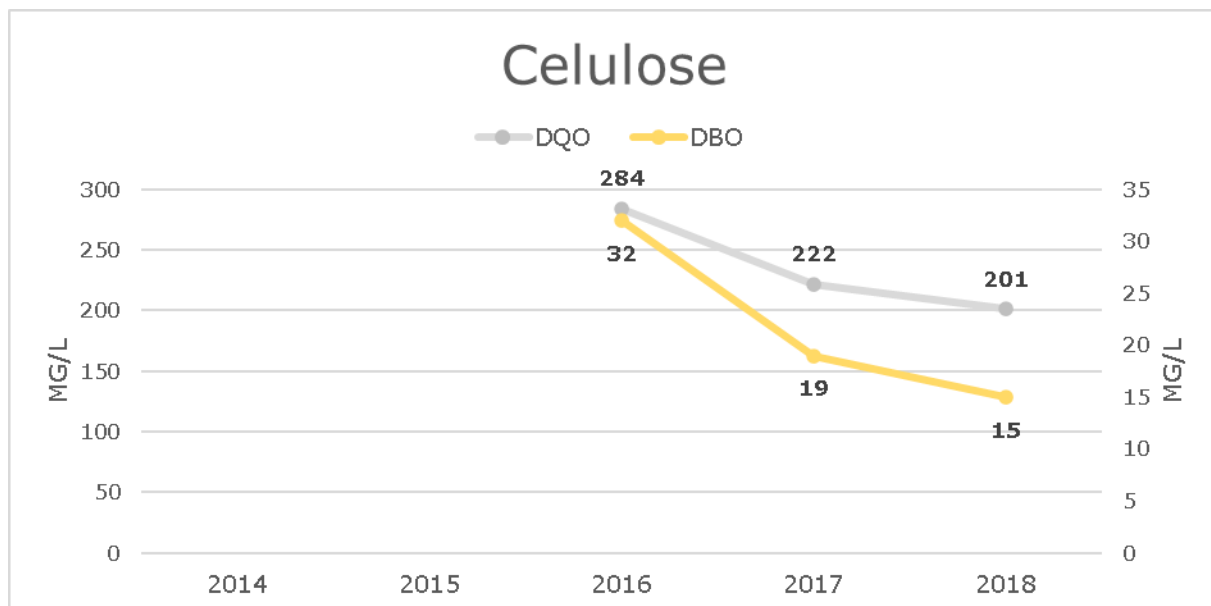


Fonte: Relatório de Sustentabilidade Klabin, 2014-2018.

Do Gráfico 17, nota-se que tanto a DQO quanto a DBO reduziram consideravelmente de 2014 para 2015, por volta de 32,62% e 43,48%, respectivamente. No ano seguinte, em 2016, a DQO apresentou aumento, enquanto a DBO manteve-se no valor. Esse ano coincidiu com a inauguração da nova unidade da Klabin, porém, o aumento observado não estava relacionado a ela, visto que a unidade inaugurada era voltada a produção de celulose.

Em 2017 e 2018, os valores médios de DQO não apresentaram grandes alterações, e a DBO atingiu o valor mínimo durante o período analisado. Porém, foi nesse ano em que a Klabin de Piracicaba (SP) recebeu sanção monetária e não-monetária devido ao lançamento de efluentes com o parâmetro DBO e sólidos sedimentáveis acima do limite legal. Segundo o relatório de sustentabilidade de 2018, a não conformidade estava atrelada ao arraste de sólidos do lodo decantado que levou a alterações no tratamento do efluente.

Gráfico 18 - Parâmetros do efluente da Klabin Celulose.



Fonte: Relatório de Sustentabilidade Klabin, 2014-2018.

Para as unidades de celulose, Gráfico 18, as informações estão disponíveis a partir de 2016, por causa do início da operação de nova unidade de celulose. Nesse ano, percebe-se que os valores de DQO e DBO do efluente oriundo da produção de celulose são superiores aos valores dos efluentes da produção de papel, vistos no gráfico 17.

Porém, com o decréscimo dos valores em 2017 e também em 2018 da unidade de celulose, nota-se que a DQO atingiu valores similares entre os negócios, celulose e papel, mas a DBO do efluente de celulose reduziu consideravelmente.

Como foi disponibilizado as informações de lançamentos de DQO e DBO, é viável a realização da análise da relação DQO/DBO do efluente das unidades de papel. Os dados estão dispostos na Tabela 15.

Tabela 15 - Relação DQO/DBO do efluente da Klabin Celulose.

		2014	2015	2016	2017	2018
DQO/DBO	Papéis	6,07	7,23	8,65	6,76	8,95
	Celulose	-	-	8,88	11,68	13,40
DBO/DQO	Papéis	0,16	0,14	0,12	0,15	0,11
	Celulose	-	-	0,11	0,09	0,07

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Klabin, 2014-2018.

Segundo Brandão (2014), a relação DQO/DBO é relevante para apresentar o grau de biodegradabilidade do efluente lançado. Em efluentes nos quais a discrepância entre os valores de DQO e DBO são menores, indicam que a presença de poluentes biodegradáveis, do contrário, quanto maior a diferença entre os valores de DQO e DBO, maiores são os teores de poluentes não biodegradáveis.

Em indústrias de celulose e papel, a razão DQO/DBO varia usualmente de 3 e 5 (BRANDÃO, 2014). Nos resultados apresentados na Tabela 15, verifica-se que a relação entre os valores médios de DQO e DBO dos setores de papel e celulose da Klabin não se enquadram no intervalo citado por Brandão (2014).

A relação DQO/DBO obtida dos efluentes dos negócios de papel e celulose são elevados, indicando predominância de componentes de caráter não-biodegradável. Visto que as unidades da Klabin aplicam métodos biológicos para tratamento de água residuária (lodos ativados), porém é plausível admitir que o tratamento biológico foi eficaz.

Já a comparação entre os resultados da relação DQO/DBO das unidades de papel das de celulose, a última mostra valores bem maiores e de comportamento crescente ao longo de 2016-2018.

6.3.3 Suzano

A indústria Suzano disponibiliza ao longo dos anos informações de seus efluentes industriais nos Relatórios de Sustentabilidades anuais. Nos relatórios dos períodos avaliados, de 2014 a 2018, os parâmetros de efluentes e as unidades abordadas estão disponíveis na Tabela 16.

Tabela 16 - Parâmetros e unidades Suzano abordados nos Relatórios de Sustentabilidade.

	Imperatriz	Mucuri	Limeira	Suzano	Rio Verde	Embu	Belém	Fibria
Vazão/DQO/DBO								
2014	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x
2015	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
2016	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
2017	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
2018	✓	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
AOX								
2014	✓	✓	x	x	x	x	x	x
2015	✓	✓	x	x	x	x	x	x
2016	x	x	x	x	x	x	x	x
2017	✓	✓	x	x	x	x	x	x
2018	✓	✓	x	x	x	x	x	x
Nitrogênio/Fósforo								
2014	x	x	x	x	x	x	x	x
2015	x	x	x	x	x	x	x	x
2016	x	x	x	x	x	x	x	x
2017	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	x
2018	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	✓

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Suzano, 2014-2018.

Da Tabela 16, observa-se que dentre as unidades abordadas nos anos de 2014 a 2018, as informações de vazão, DQO e DBO das unidades de Imperatriz, Mucuri, Limeira, Suzano e Rio Verde foram as que evidenciaram constância na apresentação dos dados durante o período. Já a unidade de Embu, apresentou esses dados apenas no Relatório de 2014, as unidades de Belém e Fibria, somente em 2018.

O parâmetro AOX, foi considerado apenas nas unidades de Imperatriz e Mucuri, em todos os anos, exceto em 2016.

E por fim, as concentrações referentes aos parâmetros fósforo e nitrogênio, apenas foram considerados nos relatórios de 2017 e 2018, nas mesmas unidades nas quais as informações de vazão, DQO e DBO apresentaram constância.

Dessa forma, visto que nem todas as unidades da Suzano e parâmetros do efluentes foram abordados com detalhes nos últimos anos, optou-se por avaliar neste item os resultados das unidades de Imperatriz, Mucuri, Limeira, Suzano e de Rio Verde, e avaliar os parâmetros: geração de efluentes, DQO e DBO.

Ainda que as atividades industriais entre as unidades sejam similares, os métodos de tratamento adotados entre as unidades se diferem, conforme Tabela 17.

Tabela 17 - Parâmetros e unidades Suzano abordados nos Relatórios de Sustentabilidade.

	Tratamento Primário	Lagoa Aerada	Reator MBBR¹	Lodo Ativado	Lagoa de Polimento
Imperatriz				✓	
Mucuri	✓	✓	✓		
Limeira	✓			✓	✓
Suzano	✓	✓			✓
Rio Verde	✓	✓			✓

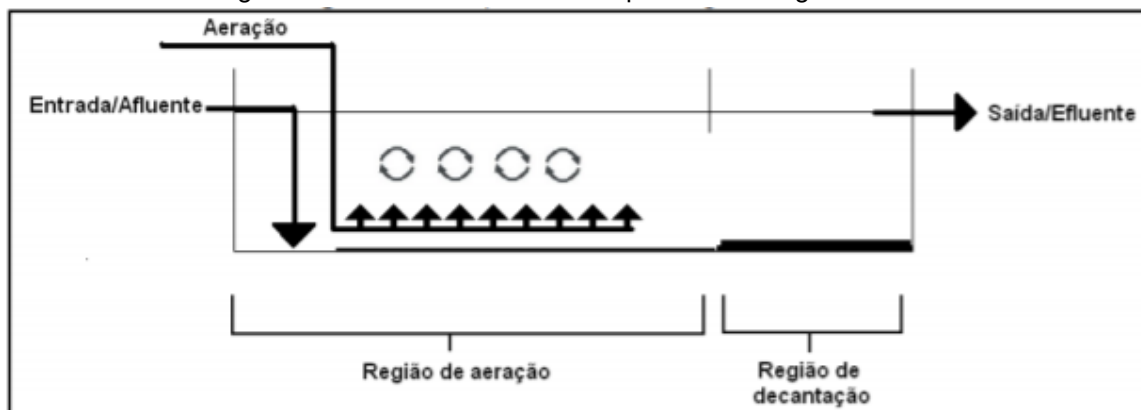
Fonte: Relatório de Sustentabilidade Suzano, 2014-2018.

1 – moving-bed biofilm reactor (MBBR)

Da Tabela 17, verifica-se que o tratamento primário, que segundo Silveira (2010) é a etapa na qual é removida grande parte da matéria orgânica em suspensão por meio de decantador primário, é aplicada para praticamente todas as unidades da Suzano, com exceção da unidade de Imperatriz.

O tratamento por meio de Lagoas Aeradas é aplicado em 3 das 5 unidades abordadas, Mucuri, Suzano e Rio Verde. De acordo com Peitz (2018), esse tratamento é do tipo biológico de baixa complexidade e baixo custo, no qual é fornecido mecanicamente oxigênio. O esquema de tratamento de efluentes por meio dessa técnica pode ser visto na Figura 6.

Figura 3- Tratamento de efluentes por meio de lagoa aerada.



Fonte: Peitz (2018).

Já o reator MBBR (moving-bed biofilm reactor), reator de leito móvel com biofilme, é um tratamento aeróbio com crescimento microbiano aderido a um suporte

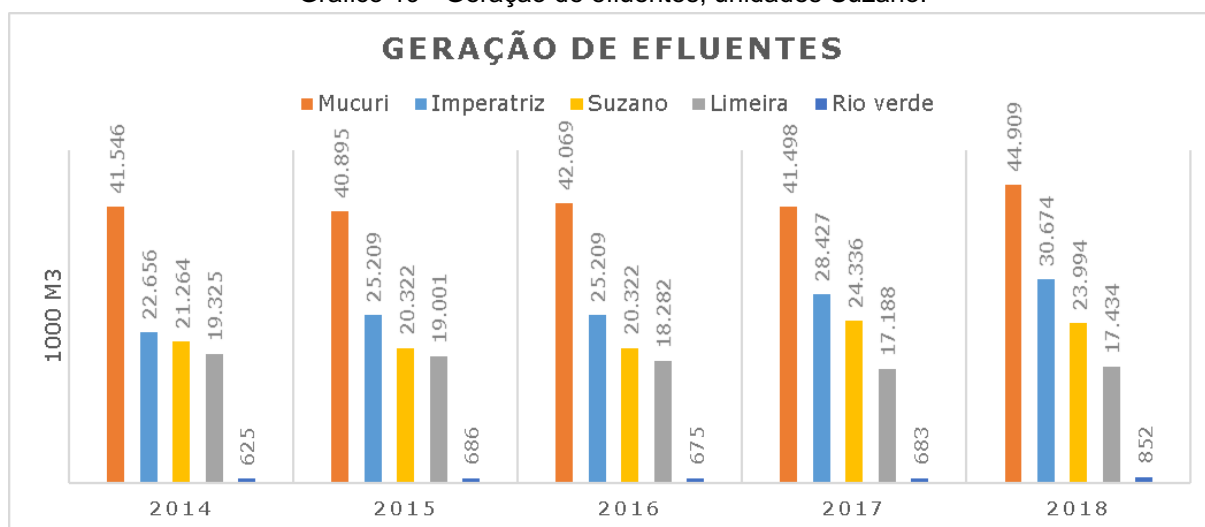
móvel, com retenção de biomassa, cujo tem bons resultados para remoção de matéria orgânica (ALMADA, 2012). Na indústria Suzano, esse tipo de tratamento foi reportado ser aplicado somente na unidade de Mucuri.

Em relação ao tratamento por meio de sistema de lodos ativados, o qual segundo Almada (2012) é um processo aeróbio onde há interação entre os microrganismos e a matéria orgânica da água residuária, propiciando a formação de flocos. Esses flocos são suspensos por meio da de aeração, com diversos agentes microbianos com a função de degradar os poluentes das águas residuárias. Dentre as unidades observadas, esse tipo de tratamento é aplicado nas unidades de Imperatriz e Limeira.

E por fim, as lagoas de polimento, alternativa para o pós-tratamento para a remoção de nutrientes (PINTO et al, 2014), é aplicada nas unidades de Limeira, Suzano e Rio Verde.

Em relação aos volumes de efluentes gerados, as informações estão disponíveis no Gráfico 19.

Gráfico 19 - Geração de efluentes, unidades Suzano.



Fonte: Relatório de Sustentabilidade Suzano, 2014-2018.

Do Gráfico 19, observa-se que a geração de efluentes é significativamente variável entre as unidades, e o maior volume gerado é disparadamente da unidade de Mucuri, seguida pela unidade de Imperatriz, Suzano, Limeira e de Rio Verde, consecutivamente. Durante o período avaliado, não houve grandes variações na geração de efluentes, mas é possível observar aumento no volume gerado em Imperatriz em 2014, 22.656.000 m³, para 2018, 30.674.000 m³.

Além dos dados de geração de efluentes, o relatório da Suzano disponibiliza informações de DQO e DBO. Segundo Giroletti (2017) os valores de DQO e DBO dos efluentes das indústrias de papel e celulose variam de acordo com processo empregado. Usualmente, as indústrias de processo Kraft geram efluentes com DQO de 250 a 400 mg/L.

As concentrações de DQO, em mg/L, e as emissões de DQO, em t/ano, estão disponíveis nas Tabelas 18 e 19, respectivamente.

Tabela 18 - Concentração de DQO (t/ano) em efluente das unidades das indústrias Suzano.

	DQO (mg/L)				
	Imperatriz	Mucuri	Limeira	Suzano	Rio verde
2014	246	457	275	220	189
2015	271	476	268	230	293
2016	298	335	276	228	224
2017	273	13247	13	239	249
2018	5	279	236	216	181

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Suzano, 2014-2018.

Tabela 19 - Emissão de DQO (t/ano) em efluente das unidades das indústrias Suzano.

	DQO (t/ano)				
	Imperatriz	Mucuri	Limeira	Suzano	Rio verde
2014	5.568	18.981	5.312	4.672	118
2015	6.835	19.464	5.090	4.664	201
2016	7.520	14.093	5.046	4.635	151
2017	7.759	549.719	226	5.826	170
2018	152	12.530	4.120	5.192	154

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Suzano, 2014-2018.

Como visto anteriormente, a maior contribuição de geração de efluentes é da unidade de Mucuri, e, portanto, para a emissão de DQO, por ser diretamente relacionada com o volume descartado, o maior aporte é dessa unidade também.

Os valores de emissão mantiveram constância de 2014 até 2016. Em 2017 foi observado um valor muito maior de DQO chegando a 549.719 t. No relatório não foi

encontrada a causa desse aumento, e verifica-se no Gráfico 19, que a vazão não sofreu alterações significativas. Porém, no ano seguinte, os valores de emissão de DQO voltaram ao patamar anterior, inferior a 20.000 t.

A relação entre volume de efluentes e DQO também é aplicável para a unidade de Imperatriz, que possui a segunda maior vazão de efluentes, bem como a segunda maior carga de emissão de DQO (t), com exceção do ano de 2018, no qual o valor total de DQO emitido foi muito inferior aos dos anos anteriores, atingindo resultado de 152 t de DQO.

Para as unidades de Suzano e Limeira que possuem volume de efluentes similares entre si, elas não seguem necessariamente a lógica de que quanto maior a geração de efluentes, maior a emissão de DQO (t).

A unidade de Suzano, apesar de possuir volume de efluentes superior ao da unidade de Limeira em todo o período avaliado, possui emissão de DQO inferior nos anos de 2014 a 2016. Em 2017, a DQO emitida pela unidade de Limeira foi de 226 t, relativamente baixa, visto que nos anos anteriores os valores de emissão eram em torno de 5000 t, enquanto da unidade Suzano, no mesmo ano, aumentou cerca de 26% na emissão. Em 2018, o valor de Limeira aumentou, chegando a 4120 t.

Já de Suzano, reduziu ligeiramente, em relação a 2017, mas não atingiu o mesmo patamar dos anos anteriores. Para a unidade de Rio Verde, os valores de emissão de DQO não apresentaram variações ao longo do período, com valores de 110-210 t.

Os valores de DBO, em mg/L, e o total emitido, em t/ano, do efluente da Suzano estão na Tabela 20 e 21, respectivamente.

Tabela 20 - Concentração de DBO (mg/L) em efluente das unidades das indústrias Suzano.

	DBO (mg/L)				
	Imperatriz	Mucuri	Limeira	Suzano	Rio verde
2014	2,4	56,6	13,2	27,3	99,2
2015	3,4	65,0	13,3	27,4	91,8
2016	3,4	27,8	14,0	24,0	50,0
2017	6,59	20,1	0,77	24,2	50,1
2018	0,1	7,3	10,0	20,2	38,8

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Suzano, 2014-2018.

Tabela 21 - Emissão de DBO (t/ano) em efluente das unidades das indústrias Suzano.

	DBO (t/ano)				
	Imperatriz	Mucuri	Limeira	Suzano	Rio verde
2014	54,6	2350,0	256,0	580,0	62,0
2015	85,7	2658,4	253,3	557,7	63,0
2016	86,0	1169,5	255,9	487,7	33,7
2017	187,3	834,1	13,2	588,9	34,2
2018	2,1	327,8	173,8	484,7	33,1

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Suzano, 2014-2018.

Os valores de DBO do efluente das unidades observadas na Tabela 18 evidenciam que assim como os parâmetros de vazão e DQO, a unidade Mucuri possui os maiores valores de emissão. Nos primeiros anos analisados, a DBO dessa unidade era superior a 2300 t. No entanto, a partir de 2016, houve um decréscimo desses valores, até que por fim atingiu 327,8 t em 2018. No entanto, em 2017, ano em que a DBO atingiu 834,1 t, esse parâmetro não acompanhou o aumento exorbitante de DQO no mesmo período.

Da unidade de Imperatriz, verificou-se que a DQO e a vazão foram superiores à outras unidades, com exceção de Mucuri. Porém, os valores de emissão de DBO foram baixos, com valores próximos aos obtidos na unidade de Rio verde, essa cuja vazão total anual não ultrapassou 1.000.000 m³/ano.

Os últimos valores de DBO da unidade de Mucuri chamaram atenção pois em 2017, pois aumentou significativamente a quantidade emitida, porém em 2018, atingiu o menor valor dos anos observados, de 2 t/ano.

A unidade de Limeira, apresentou valores de DBO sem grandes variações de 2014 a 2016, no entanto, assim como a DQO vista na Tabela 16, a DBO apresentou redução de 95% em relação ao ano anterior.

A DBO das unidades de Suzano e Rio Verde apresentaram variações relevantes no período analisado, a primeira obteve média de emissão de 539,5 t/ano, e a segunda, 45,2 t/ano.

Como citado anteriormente, quanto maior a diferença entre os valores de DQO e DBO, e conseqüentemente, maior a relação DQO/DBO, maiores são os teores de compostos não-biodegradáveis.

Tabela 22 - Relação DQO/DBO de efluente das unidades da Suzano.

	Imperatriz	Mucuri	Limeira	Suzano	Rio verde
2014	102,0	8,1	20,8	8,1	1,9
2015	79,8	7,3	20,1	8,4	3,2
2016	87,5	12,1	19,7	9,5	4,5
2017	41,4	659,1	17,1	9,9	5,0
2018	70,9	38,2	23,7	10,7	4,7

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Suzano, 2014-2018.

A relação DQO/DBO apresentou grandes variações ao longo dos anos em uma mesma unidade, principalmente nas unidades Imperatriz e Mucuri. A primeira, de acordo com a Tabela 19, obteve valores da relação DQO/DBO consideravelmente superiores as demais unidades.

A Unidade Mucuri, inicialmente nos anos de 2014 e 2016 emitia valores reduzidos, até que em 2017, atingiu o valor máximo observado em todas as unidades, de 659,1. Nesse ano, a relação ficou bastante discrepante devido ao elevado valor de DQO do efluente, conforme visto anteriormente na Tabela 15.

Já para a unidade de Limeira, a relação variou de 17-24, e para a Suzano, de 8-11, e em ambas unidades, os valores foram elevados indicando efluente com caráter não-biodegradável, de acordo o trabalho de Brandão (2014).

Para a unidade de Rio Verde, que também não apresentou alterações significativas na relação DQO/DBO ao longo do período, nota-se que os valores obtidos foram bem reduzidos em comparação às outras unidades, possivelmente indicando presença de compostos passíveis de remoção por tratamento biológico.

Interessante observar que as unidades de Suzano e Rio Verde, que apresentaram valores mais reduzidos da relação DQO/DBO no efluente tratado, são unidades que possuem tratamento biológico, responsável pela remoção da matéria orgânica que confere o caráter biodegradável, apenas por meio de lagoas aeradas, e lagoa de polimento para aprimorar o tratamento do efluente. O restante das unidades, possuíam outros tipos de tratamento biológico, como sistemas de lodos ativados ou reator MBBR.

6.4 ENERGIA

6.4.1 DIAGNÓSTICO – Veracel e Klabin

a) Geração

Para a avaliação da geração de energia nas fábricas de celulose, foram retirados resultados do relatório de sustentabilidade das empresas Veracel e Klabin, referente aos anos de 2014 a 2018. Nas 3 indústrias avaliadas, a geração de energia é apresentada na Tabela 23.

Tabela 23 - Geração de energia total e específica da Veracel e Klabin durante os anos de 2014-2018.

Geração de energia	Veracel		Klabin	
	Geração Total (GJ)	Geração esp. (GJ/t)	Geração Total (GJ)	Geração esp. (GJ/t)
2014	24.156.374	21,75	33.187.105	9,43
2015	25.328.912	16,15	34.169.688	9,33
2016	25.739.941	23,39	53.321.354	17,38
2017	26.522.194	24,03	59.676.782	16,49
2018	27.085.963	23,56	57.558.124	16,03

Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel e Klabin (2014-2018).

Conforme os dados da Tabela 20, é visto que a geração de energia da Klabin é sempre superior à da Veracel em valores brutos, no entanto, quando tratado por tonelada de celulose produzida, a segunda apresenta maior eficiência. Este fato pode ser observado de forma notável nos anos de 2014, quando a Veracel apresentava geração específica de 21,75 GJ/t e a Klabin de 9,43 GJ/t.

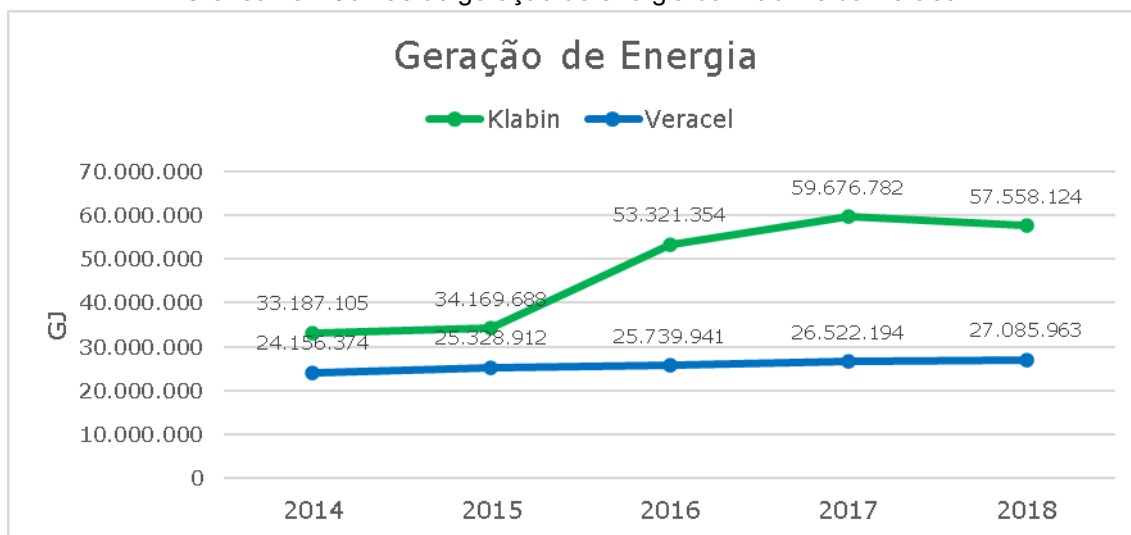
Em 2015, é perceptível que a Veracel reduziu a geração de energia por tonelada produzida em relação a 2014, de 21,75 para 16,14 GJ/t. Porém, quando se observa o total de energia gerado, 25.328.912 GJ, é evidente que a geração se manteve próxima do ano anterior, e, portanto, a redução da eficiência estava atrelada a maior produção de celulose. Em 2015, segundo o relatório de sustentabilidade referente a esse ano, a produção de celulose foi superior aos anos de 2014, 2016, 2017 e 2018 em aproximadamente 400 toneladas.

A Klabin, em 2014 e 2015 apresentou valores de geração de energia por tonelada de celulose produzida limitada, em torno de 9,5 GJ/t. A partir do ano de 2016,

com a partida de uma nova unidade, a geração total de energia teve um aumento de aproximadamente 19.000.000 GJ/ano, além disso, o valor de geração específica por ano aumentou 8 GJ/t, quase o dobro do ano anterior. Dessa forma, a diferença de geração específica de energia entre as duas indústrias ficou reduzida de 12,31 GJ/t para 6,00 GJ/t.

No gráfico 20, é possível observar o comportamento da curva de geração de energia das unidades Veracel e Klabin.

Gráfico 20 - Curvas de geração de energia da Klabin e da Veracel.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Klabin e Veracel (2004-2018).

No Gráfico 20, é possível observar o impacto do início da operação da nova unidade Klabin em 2016. Já a indústria Veracel apresentou um comportamento de geração estável com a curva linear. Dentre os anos de 2014, a geração total média de energia da Veracel e da Klabin foram, respectivamente, 25.766.677 GJ/ano e 47.613.174 GJ/ano. Já a geração específica foi de 21,77 GJ/t para Veracel, e 13,74 GJ/t para a Klabin.

b) Combustíveis – Renováveis e Não-Renováveis

Disponível nos relatórios de sustentabilidade das indústrias Veracel e Klabin, foram encontrados os dados da Tabela 24, quanto a geração de energia por fontes renováveis e não renováveis:

Tabela 24 - Geração de energia por fontes renováveis e não renováveis pelas indústrias Veracel e Klabin nos anos de 2014-2018.

Geração de energia	Veracel (GJ)		Klabin (GJ)	
	Fontes Renováveis	Fontes não-renováveis	Fontes Renováveis	Fontes não-renováveis
2014	22.577.403	1.578.971	28.260.314	4.926.791
2015	23.785.398	1.543.514	28.336.126	5.833.562
2016	24.129.442	1.610.499	46.050.854	7.270.500
2017	24.981.956	1.540.238	52.950.155	6.726.627
2018	25.532.478	1.553.485	51.296.560	6.261.564

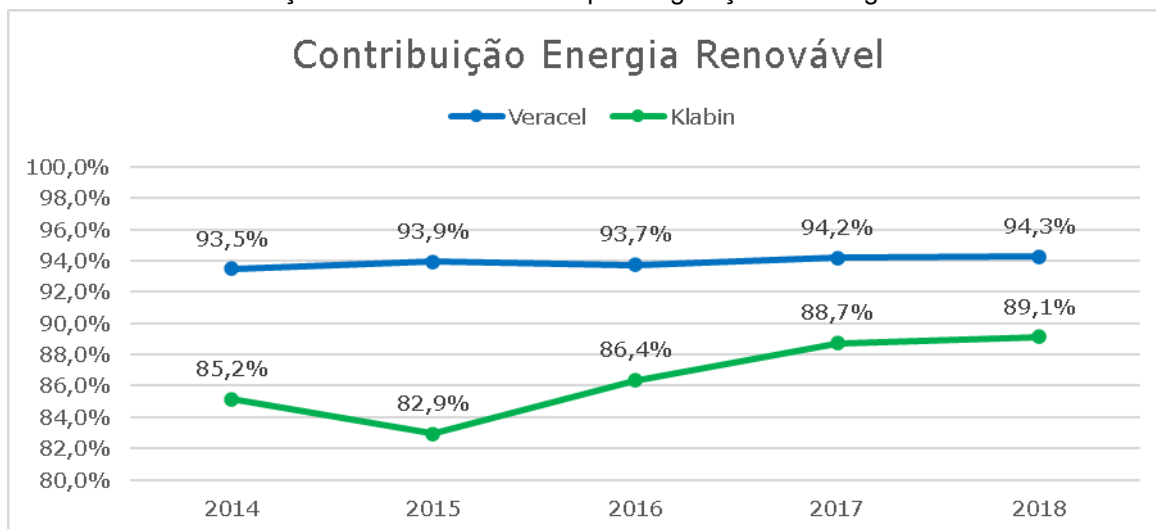
Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel da Veracel e da Klabin (2014-2018).

Segundo as informações contidas na tabela 21, é possível visualizar que a geração de energia da Veracel manteve-se praticamente no patamar, tanto para energia renovável quanto para não renovável.

A Klabin, a partir do ano de 2016, aumentou a geração de energia por fontes renováveis em cerca de 18.000.000 GJ. Se comparado com o aumento da geração total de energia, 19.000.000 GJ, vê-se que desse aumento total, cerca de 95% foram provenientes de fontes renováveis, especialmente da queima de licor negro e biomassa em caldeiras. O aumento visto em 2016 na geração de energia por fontes renováveis também foi observado em 2017, em menor proporção, devido a consolidação da operação da nova unidade.

A utilização de fontes renováveis de ambas as indústrias para a geração de energia, os resultados são apresentados no Gráfico 21.

Gráfico 21 - Contribuição de fontes renováveis para a geração de energia na Veracel e Klabin.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel e Klabin (2014-2018).

Segundo o gráfico 21, a contribuição de fontes renováveis na geração total de energia foi sempre superior na indústria Veracel, que desde 2014 possui valores acima de 93% do total. Quando se observa a geração ao longo dos anos, a Klabin mostrou uma melhoria contínua a partir de 2015, porém com valores de uso de energias renováveis menores que a Veracel.

A Klabin em 2014 mostrou um valor aceitável de contribuição de fontes renováveis em sua geração de energia, que apresenta valores em torno de 85%. Porém, ao longo dos anos de 2014 até 2018, apesar da queda em 2015, a Klabin teve um grande avanço no uso de fontes renováveis, com representação de 85,2% em 2014 para 89,1% em 2018, crescimento de cerca de 3,9%. Graças a esse crescimento, a diferença entre os valores observados entre as duas indústrias foi reduzida de 11% em 2015, para 5,2% em 2018.

6.4.2 COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS

Observando os resultados da empresa Veracel, conforme a tabela 25, o total de energia gerado anualmente por fontes renováveis provieram do uso de diversos combustíveis renováveis.

Tabela 25 - Geração de energia por tipo de combustível renovável da Veracel, de 2014 a 2018.

Combustível	Geração (GJ)				
	2014	2015	2016	2017	2018
Licor Negro	20.854.894	22.187.342	22.329.029	22.612.039	23.434.369
Biomassa	1.358.187	1.303.790	1.225.810	1.816.054	1.538.985

Hidrogênio	333.740	209.875	253.124	231.064	237.986
Metanol	30.582	84.391	321.479	322.799	321.138

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel (2014-2018).

Segundo os dados contidos na tabela 25, os combustíveis renováveis utilizados são o licor negro, biomassa, hidrogênio e metanol. Desses, a maior contribuição é do licor negro, que apresentou crescimento gradual na geração de energia ao longo dos anos relatados.

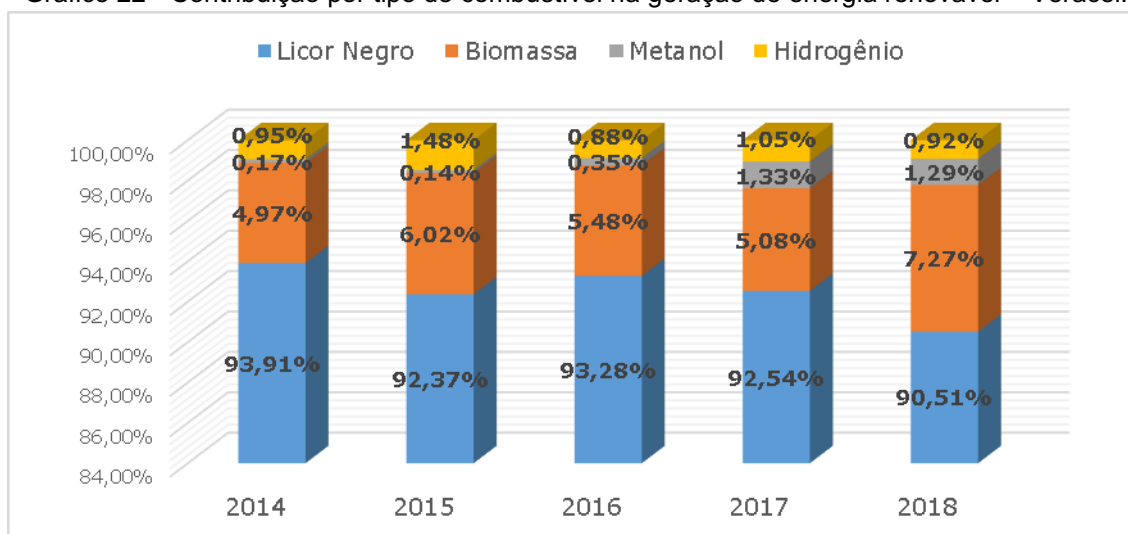
A biomassa, combustível renovável responsável pela segunda maior geração de energia, possui comportamento similar ao do licor negro, com consumo semelhante ao longo dos anos de 2014 a 2018, apresentando um aumento de aproximadamente 13% nesse período.

Já o hidrogênio, até 2015 era o terceiro maior gerador de energia renovável. No entanto, a partir de 2016, o Metanol passou a contribuir mais significativamente na geração de energia. A geração de energia por meio do hidrogênio mostrou redução de cerca de 37% entre os anos de 2014 e 2015, reduzindo a geração de energia por meio desse combustível de 333.740 GJ para 209.875 GJ. Em 2016, a geração por essa fonte aumentou 21% em relação ao ano anterior, e voltou a cair em 2017, 9%, e em 2018, aumentou apenas 3%.

O combustível Metanol, de 2014 até 2018, passou a ser utilizado em maior quantidade, gerando 30.582 GJ em 2014 e 321.138 GJ em 2018, aumento de 9,5 vezes em seu uso. De acordo com o gráfico, o metanol passou a ser consumido em maior quantidade, a partir de 2016, devido a falhas no queimador de metanol da caldeira. No entanto, não foi mencionado nos relatórios o porquê a geração de energia por meio desse combustível se manteve nos anos de 2017 e 2018.

No gráfico 22, observa-se a contribuição de cada combustível no total de energia gerada por fontes renováveis, no qual é evidente a participação majoritária do licor negro e da biomassa.

Gráfico 22 - Contribuição por tipo de combustível na geração de energia renovável – Veracel.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel (2014-2018).

Já na indústria Klabin, os combustíveis renováveis utilizados em 2014 a 2018 são apresentados na Tabela 26. As informações obtidas mostraram que a partir de 2016, uma maior variedade de combustível renovável foi utilizada.

Tabela 26 - Geração de energia por tipo de combustível renovável da Klabin, de 2014 a 2018.

Combustível	Geração (GJ)				
	2014	2015	2016	2017	2018
Licor Negro	14.821.088	15.489.422	25.922.799	31.420.144	33.096.853
Biomassa	12.681.858	12.088.429	19.829.173	21.128.715	17.568.545
EE Hidráulica	757.368	758.275	298.882	191.026	226.810
Hidrogênio	-	-	-	152.970	148.343
Piche de Tail Oil	-	-	-	210.117	256.009

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Klabin (2014-2018).

De acordo com os dados, a maior contribuição na geração de energia na Klabin foi o combustível licor negro, seguida da biomassa, assim como na Veracel. O licor negro apresentou aumento abrupto na contribuição a partir de 2016, onde gerou mais de 10.433.377 GJ em relação ao ano anterior. A partir de 2018, o aumento do uso de licor negro foi mais atenuado. Os aumentos observados em 2016 e 2017 foram devidos ao início da operação da nova unidade e sua consolidação.

A biomassa, nos anos de 2014 e 2015, manteve-se com valores de geração de energia similares, com aumento em 2016 e 2017, pelas mesmas razões do aumento do

licor negro neste período. Em 2018, houve redução de 3.560.170 GJ de energia gerada por biomassa.

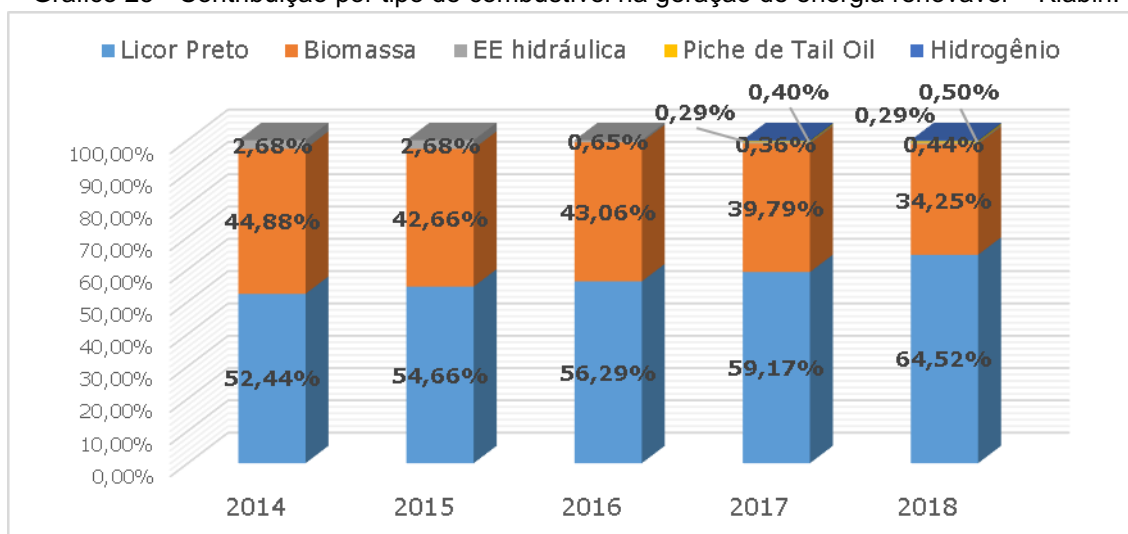
Já a energia gerada por meio de hidrelétricas em 2014 e 2015 mantiveram-se em torno de 750.000 GJ. Porém, a partir de 2016 a geração de energia por esse meio reduziu drasticamente, mais de 60% em relação ao ano anterior. A redução continuou em 2017, cerca de 39% em comparação a 2016. E em 2018, ainda que tenha tido um ligeiro aumento na geração de energia por usinas hidrelétricas, o valor não chegou ao patamar de 2014 e 2015. A redução inicial na geração de energia por hidrelétrica, observada em 2016, segundo o relatório de sustentabilidade desse ano, foi devido ao término do período de ressarcimento da Pequena Central Hidrelétrica (PCH), usina de Salto de Mauá.

O uso do hidrogênio como combustível iniciou-se a partir de 2017 e estava relacionada com a operação da nova unidade da Klabin, com geração de 152.970 GJ. Em 2018 houve uma ligeira redução na geração de energia com esse combustível, cerca de 4.600 GJ.

O piche de Tail Oil passou a ser separado do licor negro em 2017, tornando-se um combustível renovável a partir do processamento do subproduto da indústria de celulose. Sua contribuição na matriz energética renovável da Klabin não foi tão expressiva quanto a biomassa e o próprio licor negro, no entanto, foram superior a geração de energia por meio de hidrelétricas e de hidrogênio.

O gráfico 23, evidencia que as principais contribuições para geração de energia foram o licor negro e a biomassa, e que até 2016, a energia hidrelétrica era a terceira fonte utilizada pela indústria, ainda que correspondente a 0,65% da energia total. A partir de 2017, a contribuição da energia hidrelétrica foi reduzida significativamente. O piche de tail oil e o hidrogênio, inseridos como combustíveis renováveis em 2017, apresentaram contribuição relativamente pequena no valor de 0,69 % do total de energia gerada.

Gráfico 23 - Contribuição por tipo de combustível na geração de energia renovável – Klabin.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Klabin (2014-2018).

6.4.3 COMBUSTÍVEIS NÃO-RENOVÁVEIS

Em um dos primeiros relatórios de sustentabilidade da Veracel disponibilizados, o de 2007 informou que a utilização dos combustíveis fósseis é habitualmente empregado nas caldeiras em situações de parada e partidas do equipamento

Na tabela 27, com os dados da indústria Veracel de 2014 a 2018, observa-se que a variedade de combustíveis não renováveis é menor do que os combustíveis renováveis, sendo utilizado apenas 3 tipos.

Tabela 27 - Geração de energia por tipo de combustível não-renovável da Veracel, de 2014 a 2018.

Combustível	Geração (GJ)				
	2014	2015	2016	2017	2018
Gás Natural	1.253.232	1.317.008	1.367.170	1.336.448	1.338.454
Óleo Combustível	321.026	211.168	232.091	189.673	211.140
Diesel	4.713	5.338	11.238	14.117	3.891

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Veracel (2014-2018).

Segundo a tabela 24, a geração de energia por fontes não-renováveis é bastante reduzida em relação ao total apresentado anteriormente na Tabela 23, representando apenas cerca de 5 a 7% da geração total. Dos combustíveis fósseis utilizados, a maior

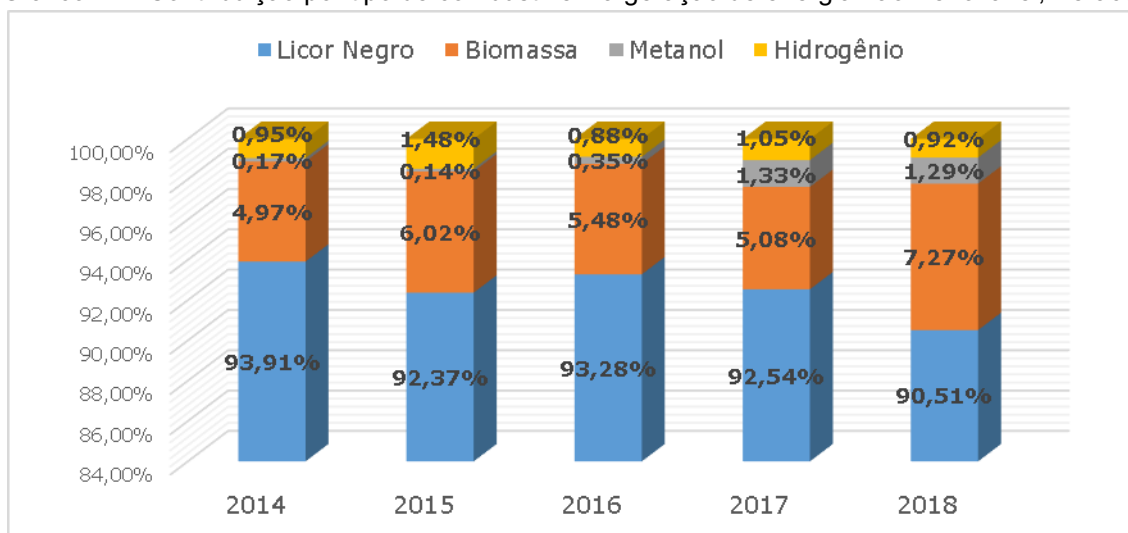
contribuição foi de gás natural. As gerações de energia por meio desse material durante 2014 a 2018 foram similares, com valores próximos a 1.300.000 GJ.

A geração de energia por meio do óleo combustível, em 2014, apresentava valores de 321.026 GJ, e em 2015 observou-se redução de cerca de 110 GJ. Em 2016 houve um ligeiro aumento, e em 2017 redução significativa na geração de 42.418 GJ, cerca de 18,3% em relação ao ano anterior. Segundo o relatório referente a esse ano, a redução observada foi resultante de melhorias de manutenção na Caldeira de Recuperação, que permitiram maior disponibilidade do equipamento, reduzindo paradas emergenciais e, conseqüentemente, o consumo desse combustível.

Em relação ao diesel, nos anos de 2014 e 2015, a geração proveniente de seu uso estavam com valores próximos, com aumento de um ano para o outro de apenas 13,3%. No entanto, em 2016 houve um aumento de 110,5% na geração de energia proveniente do diesel, em função de falhas no queimador de metanol da caldeira, que demandou maior quantidade de diesel para manter a queima. Esse aumento foi visto em menor escala em 2017, com aumento de 25,6% em relação ao ano anterior. E por fim, em 2018, queda brusca na geração por essa fonte, de cerca de 72,4%.

No gráfico 24, observa-se as contribuições de cada um dos combustíveis citados anteriormente na matriz energética proveniente de fontes não-renováveis, disponibilizados nos relatórios de sustentabilidade dos anos de 2014 a 2018.

Gráfico 24 - Contribuição por tipo de combustível na geração de energia não- renovável, Veracel.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel (2014-2018).

Do gráfico 24, infere-se que a contribuição majoritária é o gás natural. No relatório de sustentabilidade referente ao ano de 2011, foi abordado que o uso do gás

natural foi incorporado na matriz energética da indústria apenas no final de 2011 com a possibilidade de disponibilidade do recurso pela Bahiagás e implementação de um projeto de R\$ 5.000.000,00 da Veracel para o uso desse recurso. A ideia era substituir o óleo combustível consumido no forno de cal e reduzir a emissão de CO₂, essa que já apresentou redução de 10.720 t CO₂ eq./ano em 2012 (relatório de sustentabilidade Veracel, 2012). Observa-se no Gráfico 24, que a contribuição da geração de energia utilizando o gás natural em relação ao total aumentou em 2015 aproximadamente 6%, em relação ao ano anterior, e a partir desse ano, manteve valores similares de contribuição que variaram de 84-87%.

A contribuição da geração de energia por óleo combustível em 2015 reduziu consideravelmente, cerca de 6%, devido ao aumento da geração por gás natural. Em 2016 manteve-se no mesmo patamar em relação ao ano anterior, e no ano seguinte apresentou uma leve redução. De modo geral, a partir de 2014 a contribuição pelo uso de óleo combustível manteve valores próximos entre si, de 12-15%.

Já o diesel, inserido na matriz energética não renovável da Veracel apenas em 2016, ainda que os valores brutos de geração de energia por essa fonte, visto na tabela 24, possa aparentar ser relevante, sua contribuição em relação ao total é praticamente insignificante. Em 2016, contribuía 0,70% e no ano seguinte passou chegou a 0,92%. Em 2018, passou a representar apenas 0,25% do total de energia gerado por fontes não renováveis.

Os dados de geração da Klabin, obtidos nos relatórios de sustentabilidade dos anos de 2014-2018, estão dispostos na tabela 28. Nela é possível ver que os maiores valores de geração de energia foram provenientes do óleo combustível, seguido pelo gás natural, depois pelo GLP e por fim pelo diesel.

Tabela 28 - Geração de energia por tipo de combustível não-renovável da Klabin, de 2014 a 2018.

Combustível	Geração (GJ)				
	2014	2015	2016	2017	2018
Óleo Combustível	3.445.957	4.077.194	5.347.095	4.695.937	4.119.543
Gás Natural	1.182.161	1.435.481	1.500.832	1.544.884	1.654.530
GLP	297.019	316.632	360.188	446.586	460.609
Diesel	1.654	4.255	62.385	39.220	26.882

Fonte: Relatório de Sustentabilidade Klabin (2014-2018).

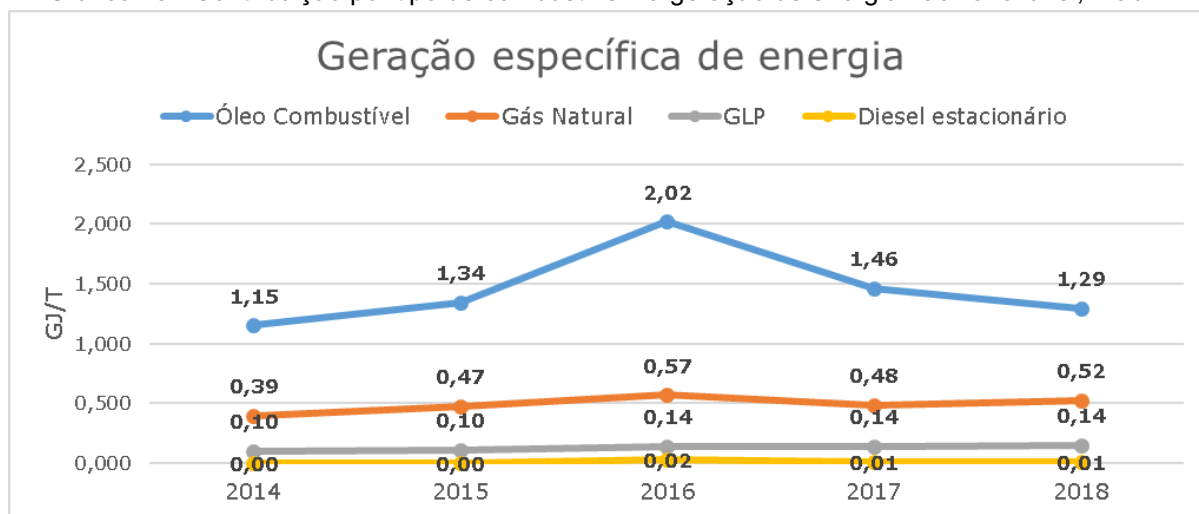
No ano de 2015 foi observado na Tabela 28 que a geração de energia por cada um dos combustíveis citados aumentou significativamente em valores bruto. Esse

aumento foi observado novamente em 2016. Pela possibilidade de o aumento da geração por fontes não-renováveis ter aumentado em função da produção, levantou-se dados de geração de energia específica de cada um dos combustíveis, no Gráfico 25.

No Gráfico 25, confirmou-se que o aumento da geração visto em 2015 e 2016, não estava associado com o aumento da produção, pois a geração específica, ou seja, a cada tonelada produzida, aumentou nesse período para todos os combustíveis não renováveis, especialmente para o óleo combustível.

Em 2017 e 2018 a geração de energia total por uso de óleo combustível e diesel diminuiu, assim como sua geração específica. Já o gás natural e GLP mostraram aumento na geração total, no entanto, o primeiro reduziu sua geração específica, indicando que ainda que tenha tido aumento do uso do combustível, a produção aumentou em maior proporção. Para GLP, a geração específica se manteve-se de 0,14 GJ/t de 2016 a 2018, indicando que o aumento da geração de energia por essa fonte foi proporcional ao aumento da produção.

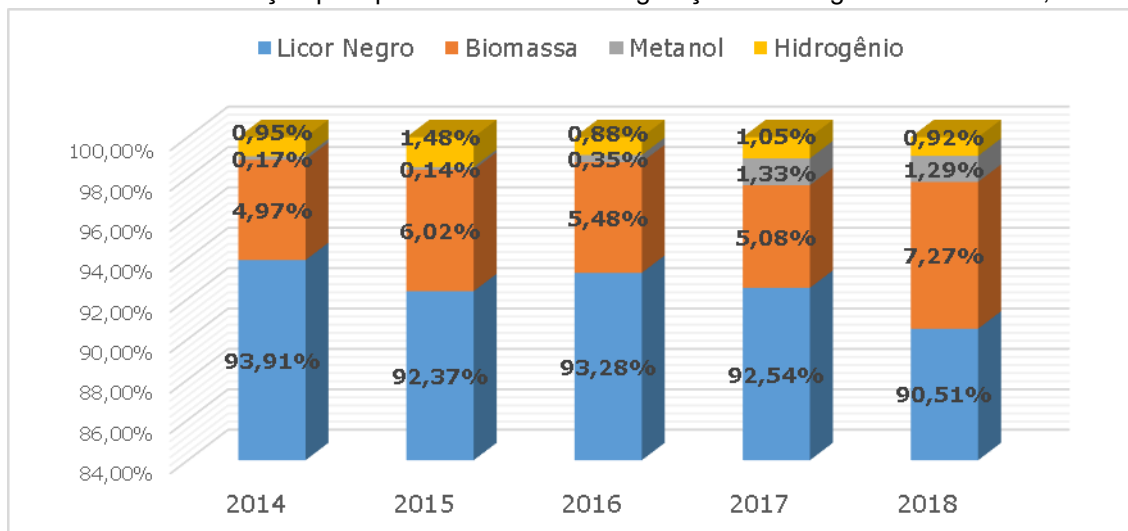
Gráfico 25 - Contribuição por tipo de combustível na geração de energia não-renovável, Klabin.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Klabin (2014-2018).

No Gráfico 26, foi levantado as contribuições de cada combustível fóssil na geração total de energia por fontes não renováveis da indústria Klabin nos anos de 2014-2018.

Gráfico 26 - Contribuição por tipo de combustível na geração de energia não-renovável, Klabin.



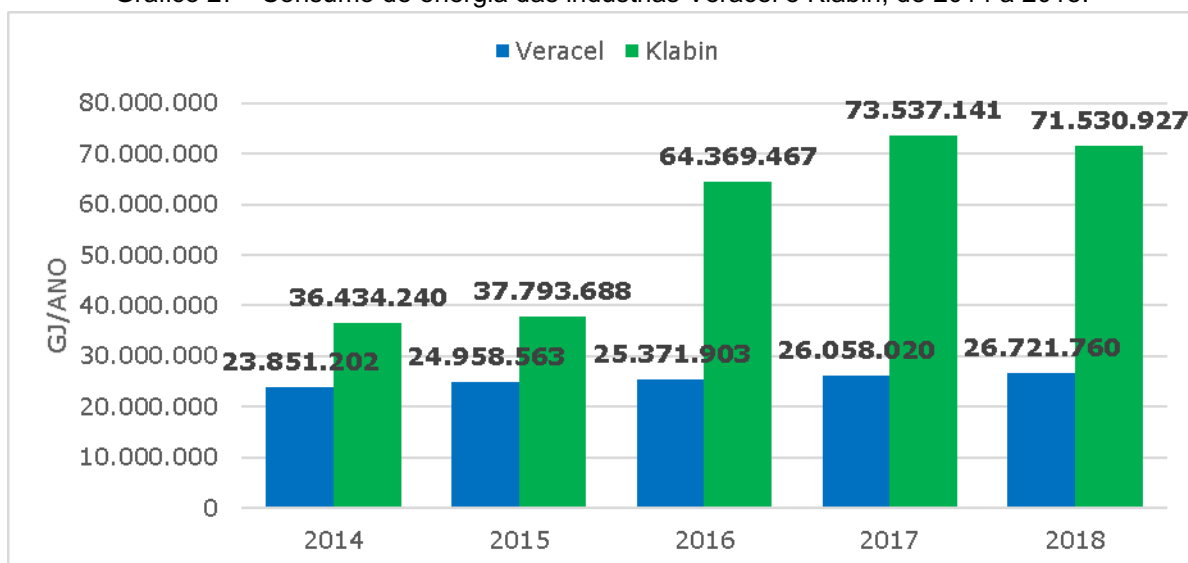
Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Klabin (2014-2018).

Do Gráfico 26, observa-se que a contribuição de óleo combustível na geração de energia da Klabin é maior em relação aos outros combustíveis, seguido do gás natural. Esse comportamento é o contrário do observado da industrial Veracel, em que o principal recurso não-renovável é o gás natural, que passou a substituir o óleo combustível a partir de 2011. Depois, a maior contribuição é do GLP, que mantém valores de 4-8% de contribuição. Por último, tem-se o diesel, com baixa contribuição no período analisado, sempre inferior a 1% do total.

6.4.4 CONSUMO DE ENERGIA

Parte da energia gerada nas caldeiras é consumida no processo, e, no caso da Veracel, parte é vendida para o sistema interligado nacional, e para o Sistema Elétrico Brasileiro. Além disso, em determinados períodos é necessário a compra de energia. Os dados de consumo de energia estão disponíveis no gráfico 27,

Gráfico 27 - Consumo de energia das indústrias Veracel e Klabin, de 2014 a 2018.



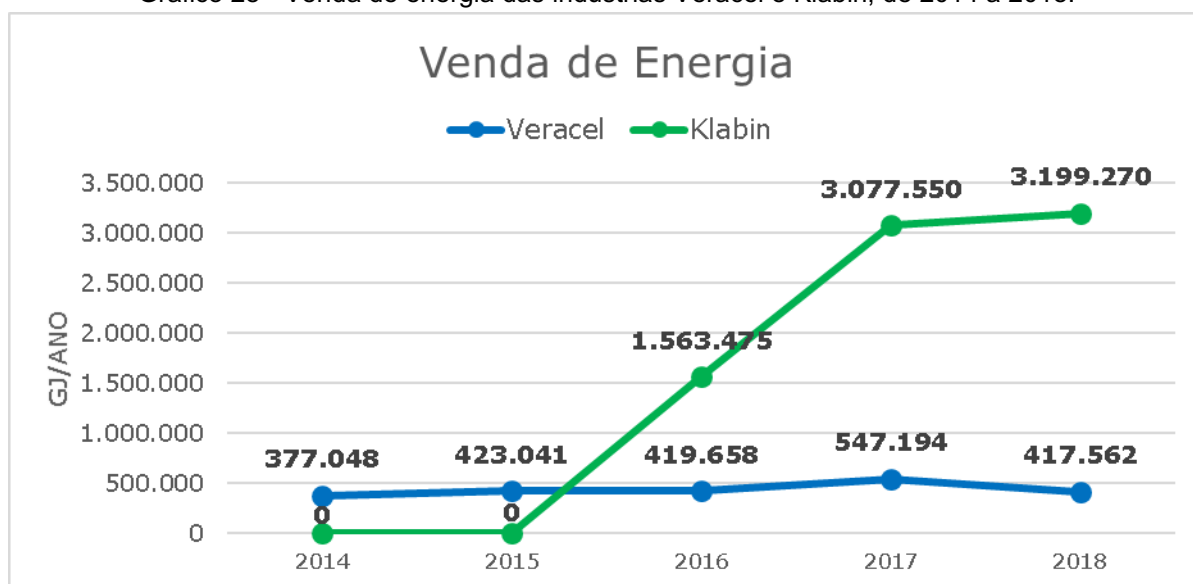
Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel e Klabin (2014-2018).

É possível verificar que o consumo de energia da Klabin aumentou significativamente em 2016, devido ao início da nova unidade. Após isso, em 2017 houve a consolidação da operação, e aumento do consumo de 14,24%. E em 2018, manteve-se em um patamar próximo ao ano anterior, com ligeira queda de 2,73% no consumo.

Para a Veracel, o consumo se manteve estável durante o período analisado, com valores entre 23.000.000 e 27.000.000 GJ.

Já o excedente de energia gerado é vendido. Os dados da energia vendida por ambas as indústrias, Veracel e Klabin, está disposto no gráfico 28.

Gráfico 28 - Venda de energia das indústrias Veracel e Klabin, de 2014 a 2018.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel e Klabin (2014-2018).

Assim como nos valores de geração e consumo de energia, observados nos Gráficos 20 e 27, respectivamente, os valores de venda de energia também foram similares ao longo de 2014 a 2018, sendo em 2017 o maior valor de energia vendida, cerca de 547.194 GJ.

Anteriormente relatado, em 2016 tanto o consumo quanto a geração de energia sofreram bruscas mudanças devido ao início da operação de uma nova unidade. Desse modo, nesse ano é possível perceber que a venda de energia foi de 1.563.475 GJ. Com os resultados anteriores, de 2014 e 2015, é possível perceber que a nova unidade é a única a vender energia. Os valores de venda aumentaram 96,84% em 2017, e 3,96% em 2018.

6.5 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS

6.5.1 VERACEL

A disponibilização de informações referentes aos dados de emissões atmosféricas nos relatórios de sustentabilidade é apresentada de forma diferente entre as indústrias. A Veracel dispõe de dados mais detalhados, dessa forma, foi a principal avaliada no período de 2014 a 2018.

Segundo as informações disponibilizadas, os monitoramentos realizados por fonte são apresentados na Tabela 29

Tabela 29 - Parâmetros monitorados por fonte de emissão.

	Óxidos de Nitrogênio (NOx)	Material Particulado (MP)	Enxofre Reduzido Total (TRS)	Óxidos de Enxofre (SOx)
Caldeira de Recuperação	✓	✓	✓	✓
Forno de Cal	✓	✓	✓	x
Caldeira de Força	✓	✓	x	x

Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel 2014-2018.

Os valores de emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre, enxofre reduzido total e material particulado, em tonelada por ano, estão dispostos na Tabela 30.

Tabela 30 - Valores de emissão atmosférica de NOx, SOx, TRS e MP.

Poluente	2014	2015	2016	2017	2018
NOx (t/ano)	974,9	1090,4	1173	1328	1503
SOx (t/ano)	9,2	6	22,4	33,6	24,5
TRS (t/ano)	9,7	9,4	7,8	5,7	6,3
MP (t/ano)	318,3	468,3	506	403	566
Produção celulose (t)	1.110.844	1.568.560	1.100.689	1.103.736	1.149.678

Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel 2014-2018.

Da Tabela 30, observa-se que as taxas de emissão de NOx aumentaram gradativamente de 2014 a 2018, apresentando aumento em relação ao ano anterior de 12% em 2015, 8% em 2016, 13% em 2017 e 2018. O aumento observado em 2015, pode ser atribuído ao aumento da produção em aproximadamente 458.000 toneladas. No entanto, em 2016 a taxa de emissão de NOx aumentou, e a produção foi reduzida em 468.000 toneladas. Em 2017, o aumento da emissão foi de 13% enquanto a da produção foi inferior a 1%. O mesmo foi observado em 2018, porém o aumento da produção foi ligeiramente superior em 4%.

Segundo o “Plano de redução de emissões de fontes estacionárias”, as emissões de NOx na Caldeira de Recuperação, quanto maior os teores de sólidos sedimentáveis e nitrogênio na lixívia e maior quantidade de GNC, mais altas serão as emissões de NOx.

O parâmetro SOx não apresentou grandes variações em 2014 e 2015, mostrando valores inferiores a 10 t/ano. Porém, em 2016 foi observado um aumento notável de 273% na emissão desproporcional a produção de celulose. Em 2017,

atingiu-se o maior valor de 33,6 ton. de SOx. E em 2018, o valor foi reduzido para 24,5 ton. Ao contrário do NOx, quanto maior o teor de sólidos sedimentáveis no material a ser queimado na caldeira de Recuperação, menores são as emissões de SO₂ (plano de redução de emissões de fontes estacionárias).

Já o TRS manteve valores similares entre os períodos avaliados, variando de 5,7 a 9,7 toneladas emitidas por ano. Ao longo de 2014 a 2017, foi observado que ocorreu queda gradual, e apenas em 2018 um leve aumento na emissão em relação ao ano anterior. O contrário foi observado para o Material Particulado, em que houve aumento gradual da emissão, com uma pequena queda no valor de 2017 em relação ao ano anterior devido a implementação de plano de ação para manutenção corretiva dos precipitadores eletrostáticos.

Além dos dados apresentados na Tabela 31, é interessante observar a quantidade emitida de cada um desses compostos a cada tonelada de celulose produzida na Veracel. Os valores estão disponíveis na Tabela 31.

Tabela 31 - Valores de emissão atmosférica específica de NOx, SOx, TRS e MP (kg/t).

Kg/t	2014	2015	2016	2017	2018
NOx	0,8776	0,6952	1,0657	1,2032	1,3073
SOx	0,0083	0,0038	0,0204	0,0304	0,0213
TRS	0,0087	0,0060	0,0071	0,0052	0,0055
MP	0,2865	0,2986	0,4597	0,3651	0,4923

Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel 2014-2018

Observa-se que as emissões específicas, ou seja, as emissões a cada tonelada de celulose produzida, de SOx e TRS foram baixas ambos representando menos de 2% das emissões específicas. Para SOx, o máximo emitido foi em 2017, onde foi observado na Tabela 30 que a produção de celulose não apresentou grandes variações, mas a emissão foi a maior durante 2014 e 2018. A emissão de SOx representou em média 1,1% das emissões totais.

Já a emissão específica de TRS não apresentou grandes variações, mantendo-se entre 0,005 e 0,009 kgTRS/t celulose. Sua contribuição nas emissões específicas totais foi em média de 0,5%.

O NOx emitido a cada tonelada de celulose produzida foi o mais significativo dentre os compostos, representando em média 71,8% do total, de 2014 a 2018. O menor valor de emissão observada na Tabela 28, foi ano de 2015, em que a emissão bruta em tonelada não foi a menor, mas a produção de celulose superou 1.500.000 toneladas. A partir de 2016, as emissões específicas de NOx aumentaram gradualmente e ultrapassaram 1 kgNOx/t celulose.

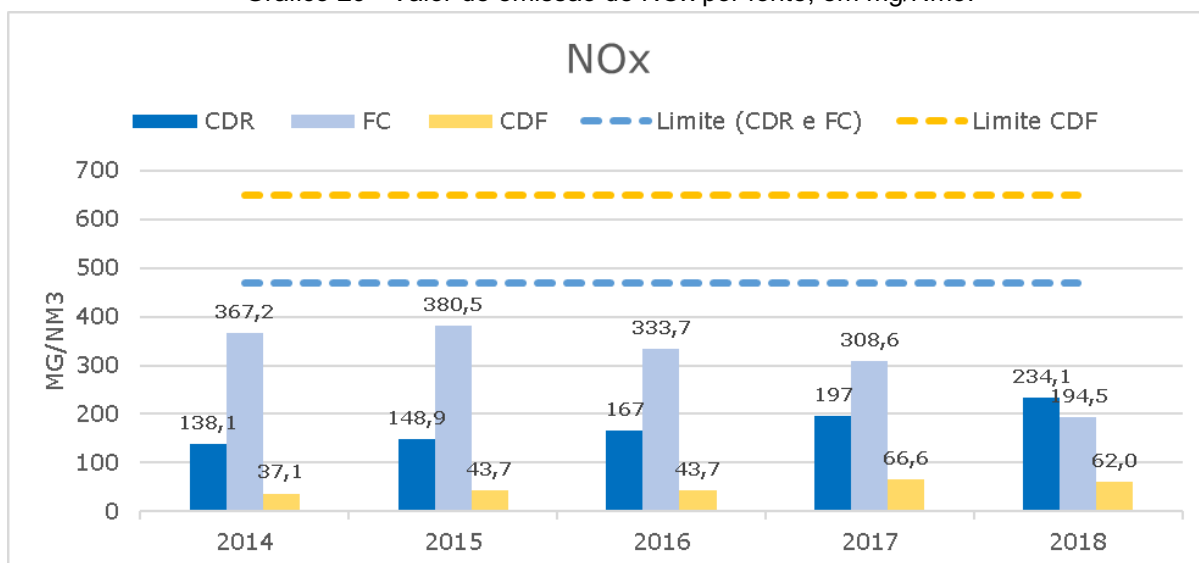
A contribuição das emissões específicas de MP foram em média 26,7%, mantendo valores próximos em 2014 e 2015. De 2016 pra frente, houve pequenas oscilações, atingindo o máximo em 2018, 0,49 kgMP/t celulose.

6.5.1.1 EMISSÕES ATMOSFÉRICAS POR FONTE

Os valores de emissão de NOx, MP, TRS e SOx por fonte da Indústria Veracel estão dispostos nos gráficos 29, 30, 31 e 32, respectivamente.

a) NOx – Óxidos de Enxofre

Gráfico 29 - Valor de emissão de NOx por fonte, em mg/Nm3.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel 2014-2018.

(CDR = Caldeira de Recuperação; CDF: Caldeira de Força; FC= Forno de Cal)

Para o parâmetro NOx, o gráfico 29 evidencia que as três fontes, caldeira de recuperação, forno de cal e caldeira de força, possuem medição e limites legislados. Os maiores valores de emissão são oriundos do Forno de cal, porém, todas as fontes estão abaixo do limite legal imposto pelo CONAMA nº 382 de 2006.

O “Plano de redução de emissões de fontes estacionárias” da CETESB de 2014, aborda as Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD) que visam melhorar o desempenho ambiental global das instalações de produção de papel e celulose. Para a redução de NOx, foram indicadas:

Para Caldeira de Recuperação

- Otimização da mistura combustível-ar
- Alimentação de ar das caldeiras distribuída em diferentes entradas

Para Fornos de Cal

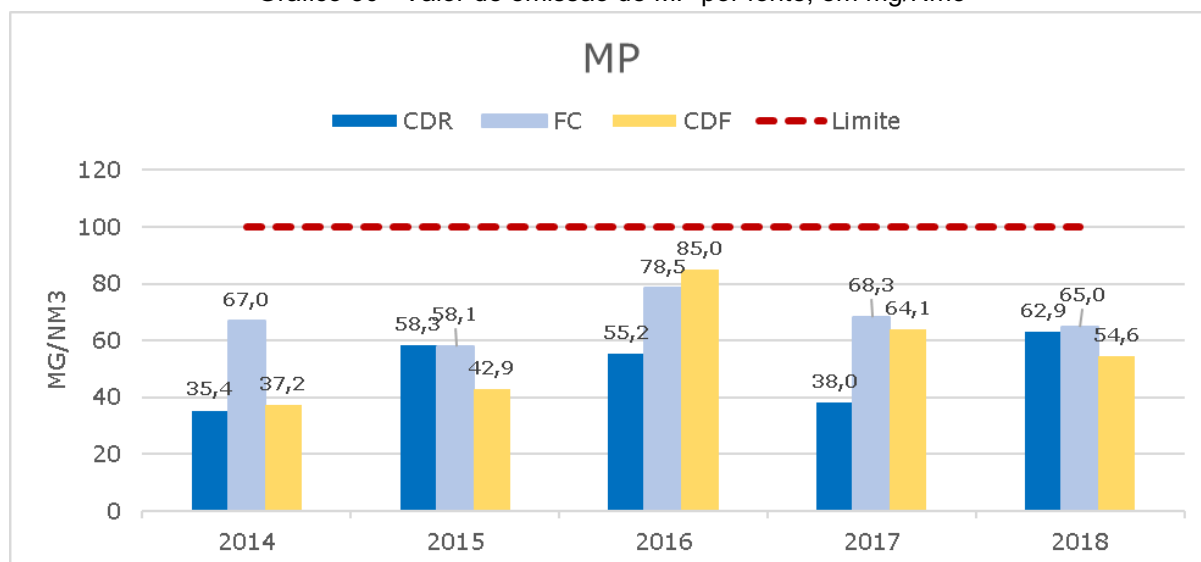
- Otimização da mistura combustível-ar
- Uso de queimadores com baixo nível de NOx
- Uso de combustível com baixo teor de nitrogênio

Para Caldeira de Força

- Pré-aquecimento do ar
- Redução Catalítica Seletiva (RCS)
- Redução Não Catalítica Seletiva (RNCS)
- Recirculação de gases

b) MP – Material Particulado

Gráfico 30 - Valor de emissão de MP por fonte, em mg/Nm³



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel 2014-2018.

Para o material particulado, no Gráfico 30, o limite legal é o mesmo para as 3 fontes, 100 mg/Nm³. Assim como para o NOx, as concentrações de MP estão dentro de limite legal, imposto pelo CONAMA nº 382 de 2006, e com a maior concentração emitida pelo forno de cal, com exceção de 2016, cuja maior concentração foi da caldeira de força.

Em 2017 é notável que as concentrações de todas as fontes de MP reduziram. A principal explicação foi a implementação de plano de ação de manutenção preventiva de precipitadores eletrostáticos.

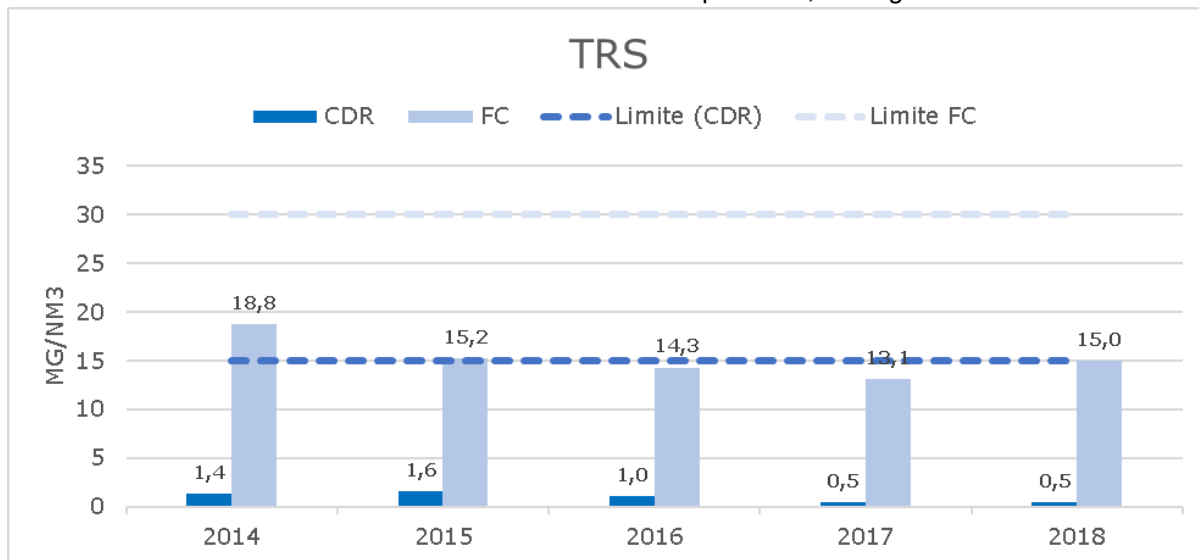
Segundo o guia de “Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD) da CETESB (2014), os controles mais comuns utilizados para a redução de MP na queima de resíduos de madeira, são:

- Coletores mecânicos multiclone: Eficiência de remoção de 25-65%.

- Lavadores de Gases
- Precipitadores Eletrostáticos (ESPs): utilizados quando a eficiência de controle de particulado deve ser acima de 90%.
- Filtros de tecido: Eficiência acima de 90%, no entanto, apresenta riscos de incêndio em decorrência de faíscas e cinzas volantes.

c) TRS – Enxofre Reduzido Total

Gráfico 31 - Valor de emissão de TRS por fonte, em mg/Nm³.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel 2014-2018.

A medição de TRS é feita na chaminé da caldeira de recuperação e no forno de cal, com limite legal diferente, sendo para a primeira fonte, mais restritivo. De 2014 a 2018, todos os valores de TRS atenderam o CONAMA n. 382 de 2006.

Para as emissões de TRS na Caldeira de Recuperação os valores apresentados no Gráfico 31 mostram baixas emissões, essas que mostraram redução ao longo de 2014 até 2018. Em relação às emissões do forno, os valores são maiores, assim como seu limite legal, e também mostraram redução até 2017, com um aumento de pequena proporção em 2018.

O “Plano de redução de emissões de fontes estacionárias” da CETESB (2014), aborda as Melhor Tecnologia Prática Disponível (MTPD) que visam melhorar o desempenho ambiental global das instalações de produção de papel e celulose. Para a redução de TRS, foram indicadas:

Para Caldeira de Recuperação:

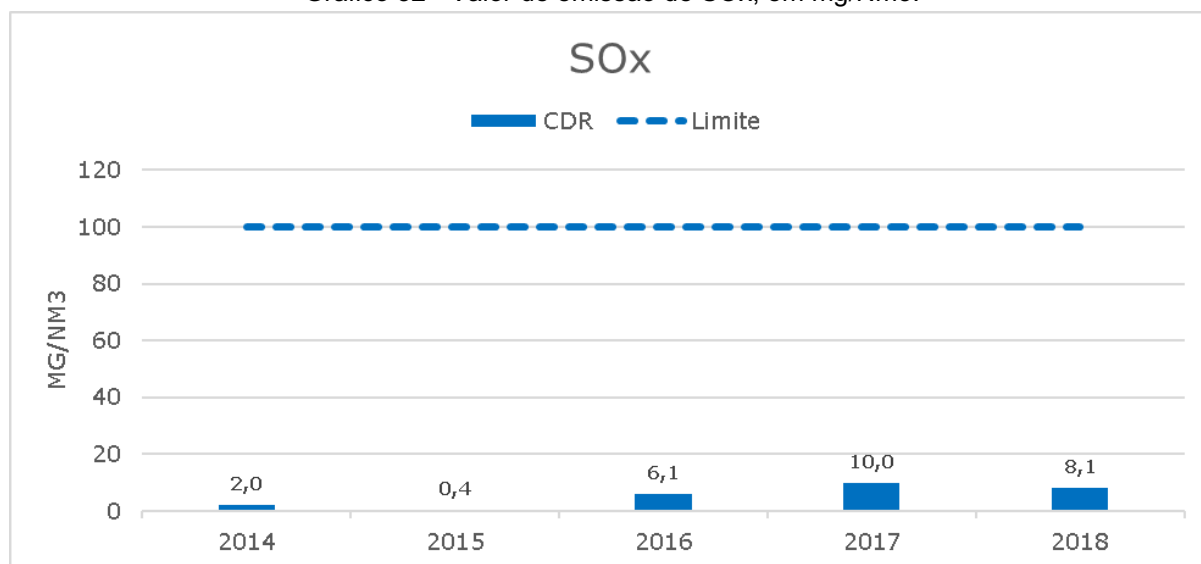
- Aumento do teor de sólidos secos da lixívia;
- Lavagem dos gases.

Para Fornos de Cal:

- Controle do excesso de oxigênio
- Controle de Sulfeto de Sódio (Na_2S) nas lamas de cal que alimentam os fornos
- Combinação de precipitador eletrostático com lavador de gás alcalino.

d) SOx – Óxidos de Enxofre

Gráfico 32 - Valor de emissão de SOx, em mg/Nm³.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel 2014-2018.

O parâmetro SOx, conforme visto no Gráfico 32, é apenas avaliado na caldeira de recuperação e seu limite legal é de 100 mg/Nm³ (CONAMA nº 382 de 2006). Em todos os anos, os valores medidos ficaram bem abaixo do limite. No entanto, de 2014 até 2018, ainda que tenha valores baixos, houve aumento de cerca de 309%, tendo o pico em 2017.

Segundo o “Plano de redução de emissões de fontes estacionárias” da CETESB (2014), para a redução das emissões de determinados compostos, devem ser tomadas as seguintes ações:

Para Caldeira de Recuperação (igual ao de TRS para a mesma fonte):

- Aumento do teor de sólidos secos da lixívia.
- Lavagem dos gases.

6.5.1.2 GASES NOCIVOS À CAMADA DE OZÔNIO

A Veracel destina parte de conteúdo de seus relatórios para citar as emissões de gases destruidores da camada de ozônio, em toneladas por ano, conforme Tabela 32.

Tabela 32 - Valores de emissão dos gases R-22, R-134 e R-141b.

	Tonelada				
	2014	2015	2016	2017	2018
R-22	0,851	0,694	0,870	0,829	0,829
R-134	0	0	0	0,646	0,639
R-141 B	0,014	0,129	0,259	0	0

Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Veracel 2014-2018.

Segundo o Relatório de Sustentabilidade de 2014, a Veracel firmou um acordo com o Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior para cooperar tecnicamente e desenvolver um inventário setorial de Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). Com a conclusão desse diagnóstico, a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), entidade que representa as indústrias de papel e celulose, pretendia criar um protocolo para inventários de GEE de empresas, com previsão de finalização em dezembro de 2016. No entanto, nos relatórios de 2017, foi citado que o protocolo ainda não estava finalizado.

Quanto a emissão dos gases nocivos a camada de ozônio, visto na Tabela 32, para os anos de 2014 a 2018, o gás R-22 foi utilizado continuamente com valores próximos a 0,800 t/ano, com exceção do ano de 2016 que atingiu o menor valor, 0,694 t. emitidas.

Já o gás R-141b foi utilizado de 2014 até 2016 e a partir de 2017 foi suspenso seu uso, visto que os valores de emissões foram nulos, devido ao uso do R-134 em substituição ao R-141b. No entanto, os valores de emissão do R-134 aumentaram consideravelmente de forma comparativa, cerca de 149% em 2017 e 147% em 2018.

Sobre os gases, segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011):

- R-22: Gases refrigerantes tipo HCFC (Hidroclorofluorcarbonos) bastante usado em instalações comerciais. Seu uso é restringido pelo Protocolo de Montreal e possui cronograma de eliminação iniciado pelo Ministério do Meio Ambiente Brasileiro a partir de 2013
- R-134 e R-141b: Como resultado do Protocolo de Montreal, grande parte das aplicações domésticas e comerciais leves substituíram o R-22 pelo R-134 e R-141b, do tipo HFCs (hidrofluorcarbono). No entanto, foi percebido mais tarde que apesar desses materiais terem efeito mínimo sobre a camada de ozônio, possuíam efeito considerável sobre o efeito estufa. Dessa forma, o gás R-134 foi substituído pelo isobutano (HC-600a), isopropano (HC-290) e dióxido de carbono (CO₂/R744). Já o R-141b, foi substituído pelo ciclopentano. Ambos em aplicações domésticas e comerciais leves (MMA, 2011).

6.5.2 KLABIN E SUZANO

Os relatórios de sustentabilidade das empresas Klabin e Suzano disponibilizam informações relacionadas às emissões atmosféricas de modo similar, considerando as emissões de CO₂ e dividindo-os em escopos.

- Escopo 1: Emissões diretas como de fontes estacionárias (equipamentos de queima de combustíveis fósseis e maquinário), fontes móveis de combustão (veículos a combustão operados internamente), emissões fugitivas (vazamento de gases refrigerantes e uso de extintores de incêndio), gerenciamento de resíduos sólidos e efluentes internos e uso de fertilizantes em viveiros e na silvicultura.
- Escopo 2: Emissões indiretas de Gases de Efeito Estufa (GEE), obtidas pela compra de energia elétrica da rede.
- Escopo 3: Emissões indiretas de GEE causada por terceiros. Inclui fontes móveis de combustão, tratamento de resíduos sólidos, viagens aéreas de funcionários e transporte marítimo.

Ambas as indústrias fazem esse levantamento de acordo com os padrões e metodologias estabelecidos pelo programa brasileiro GHG (Greenhouse Gas) Protocol. Na tabela 33, estão as informações dos valores de emissão de CO₂ de acordo com cada escopo avaliado.

Tabela 33 - Valores de emissão de CO₂ de acordo com os escopos 1, 2 e 3.

	2014	2015	2016	2017	2018
Escopo 1 (t/CO₂eq.)					
Klabin	3.190	3.767	5.250.679	5.982.481	5.680.925
Suzano	-	1.596.608	929.236	869.348	2.247.998

Escopo 2 (t/CO₂eq.)					
Klabin	147	140	99.866	105.829	87.791
Suzano	-	63.820	65.863	73.329	82.112
Escopo 3 (t/CO₂eq.)					
Klabin	118.000	76.680	100.876	175.368	170.466
Suzano	-	586.618	475.048	465.782	1.790.098
Total (t/CO₂eq.)					
Klabin	121.337	80.587	5.451.421	6.263.678	5.939.182
Suzano		2.247.047	1.470.147	1.408.460	4.120.208
Variação					
Klabin	0%	-34%	6665%	15%	-5%
Suzano	0%	0%	-35%	-4%	193%

Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Klabin e da Suzano, 2014-2018.

De acordo com os valores apresentados na Tabela 30, as emissões do Escopo 1 da Klabin e Suzano foram bastante diferentes entre si. A Klabin possuía emissão de cerca de 3000-4000 tCO₂/ano até 2015. Com a operação de uma nova unidade com capacidade elevada de geração de energia, houve um aumento exorbitante nas emissões do Escopo 1, emitindo 5.250.679 toneladas, majoritariamente proveniente da queima de biomassa. Em 2017, na Klabin houve um aumento de 15%, relativamente baixo em comparação ao aumento visto em 2016. E em 2018, houve redução de cerca de 5%.

A Suzano não tinha valores compilados em 2014, mas a partir de 2015 observa-se valor elevado de emissão de CO₂, comparada à Klabin no mesmo período, que apresentou redução gradual até 2017. Em 2018, com a aquisição da Fibria para o grupo Suzano, as emissões aumentaram, aproximadamente 193%, em relação à 2017.

O escopo 2, relacionado com a compra de energia, para ambas as indústrias são responsáveis pelos menores valores de emissão de CO₂, em comparação ao escopo 1 e 3. A Klabin, como observado para o escopo 1, apresentou um aumento notável em 2016, com um pequeno aumento em 2017, e redução em 2018.

A Suzano, mostrou aumento ao longo dos anos, atingindo o máximo de 82.112 toneladas emitidas em 2018. O relatório de ambas as indústrias referente ao ano de 2017, citaram que o aumento observado nesse ano, em relação a 2016 ocorreu pelo aumento do fator de emissão do Sistema Interligado Nacional (SIN).

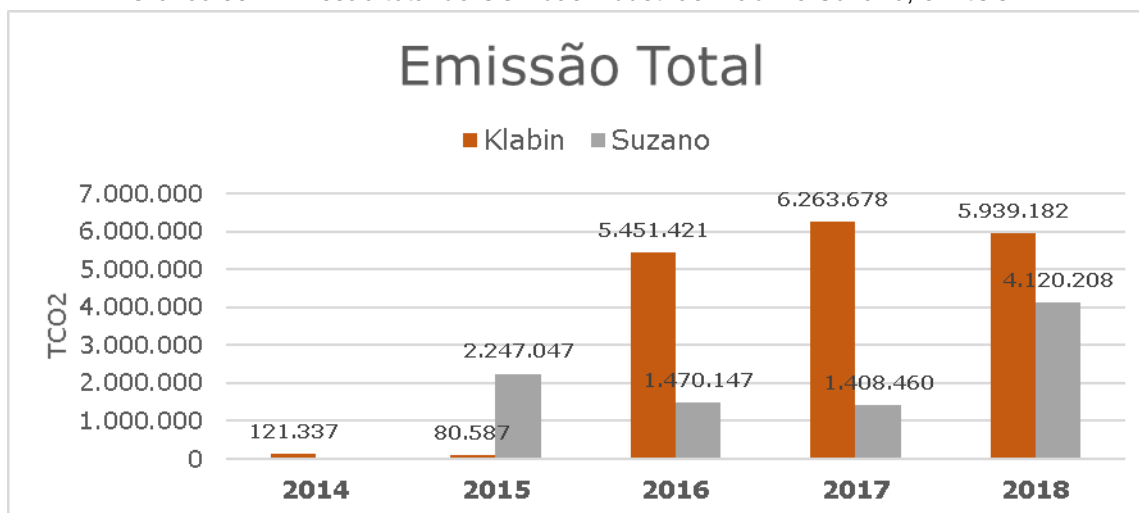
O escopo 3, atrelado às emissões indiretas cujas atividades das indústrias têm relação, mas não tem controle, apresentou maiores valores em todos os anos na indústria Suzano em relação à Klabin, especialmente em 2018 após a aquisição das unidades da Fibria.

A redução da emissão observada em 2017, segundo o relatório apresentado, ocorreu devido ao menor envio de embalagens plásticas para incineração na unidade florestal do Maranhão, reduzindo cerca de 24.000 toneladas de CO₂ emitidas. Já a Klabin, diferente dos escopos 1 e 2, para o escopo 3 não apresentou grandes variações com o início da nova unidade, verificado no valor de emissão de 2014 que foi superior ao de 2016. Em 2017, a emissão foi levemente superior em comparação ao ano anterior devido ao aumento de emissões provenientes do transporte de produto.

No geral, quando se observa as emissões totais de CO₂ (escopo 1 +escopo 2 + escopo 3), apresentadas no Gráfico 33, verifica-se que até o início da operação da nova unidade da Klabin em 2016, as emissões totais eram inferiores à da Suzano, cerca de 28 vezes.

Porém, com o início da nova unidade em 2016, o aumento das emissões da Klabin foi evidente, principalmente as emissões do escopo 1, em função da queima de biomassa. A partir desse ano, os valores de emissões totais ultrapassaram as emissões da Suzano, que em 2018, após a aquisição da Fibria, também apresentou aumento das emissões atmosféricas.

Gráfico 33 - Emissão total de CO₂ das indústrias Klabin e Suzano, em tCO₂.

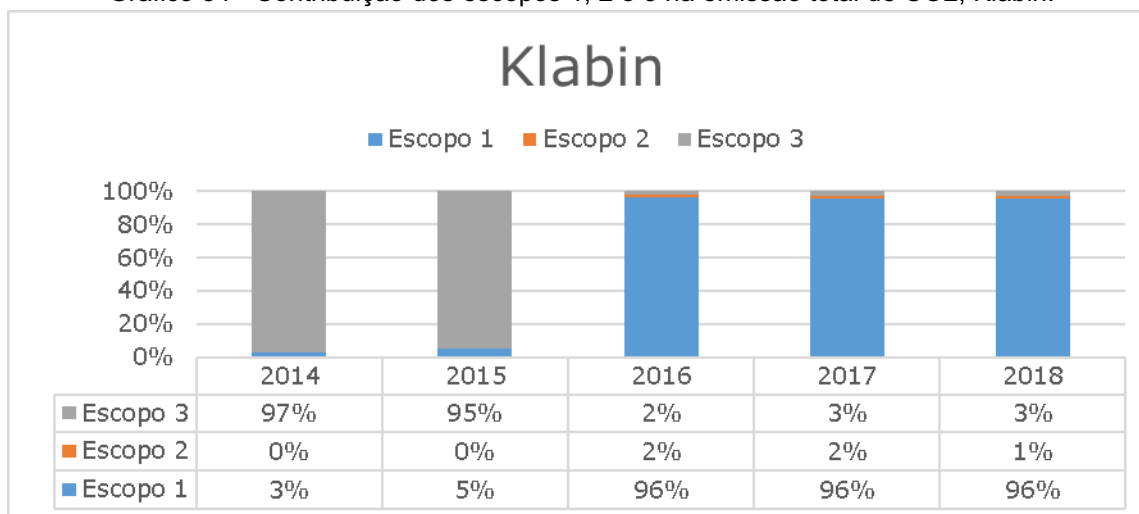


Fonte: Relatórios de Sustentabilidade Klabin e Suzano, 2014 a 2018.

Quando se observa a contribuição de emissão por escopo da Klabin, percebe-se que até 2015, a contribuição majoritária era do escopo 3, essa que engloba as emissões de CO₂ proveniente da atividade de terceiros, viagens aéreas, tratamento de resíduos etc. No entanto, a mudança da contribuição foi notável em 2016 em diante, conforme vê-se no Gráfico 34, a contribuição do escopo 1, proveniente da queima de combustíveis em equipamentos estacionários como caldeiras, aumentou de 5% em

2015 para 96% de contribuição em 2016. A contribuição do escopo 2 no total emitido sofreu pequenas alterações. Após 2016, ano de partida da nova unidade da Klabin, o comportamento da participação de cada escopo (1, 2 e 3) no total de CO₂ emitido manteve-se constante.

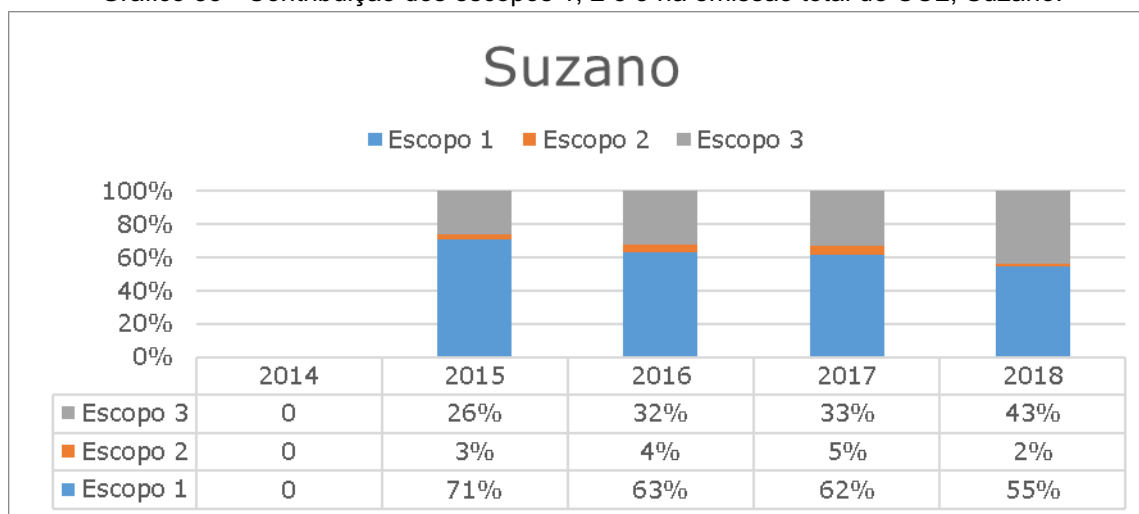
Gráfico 34 - Contribuição dos escopos 1, 2 e 3 na emissão total de CO₂, Klabin.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade da Klabin (2014-2015).

Diferente da Klabin, a indústria Suzano mostrou uma distribuição dos valores de contribuição no total de CO₂ emitido dos escopos 1 e 3, mais uniforme, porém mantendo sempre, no período observado, a predominância da emissão do escopo 1. Em 2018, a diferença entre os valores de colaboração do escopo 1 e 3 reduziram, com o aumento desse último, conforme o gráfico 35.

Gráfico 35 - Contribuição dos escopos 1, 2 e 3 na emissão total de CO₂, Suzano.



Fonte: Relatórios de Sustentabilidade da Suzano (2014-2015).

No entanto, para avaliar a eficácia do controle das emissões de CO₂, é preciso considerar a emissão específica, ou seja, a quantidade emitida por tonelada de produto produzido. Os dados de emissão de gases do efeito estufa estão dispostos na Tabela 34.

Tabela 34 - Intensidade de emissão de gases de efeito estufa (tCO₂/t produto).

	2014	2015	2016	2017	2018
Klabin	0,283	0,248	0,239	0,235	0,219
Suzano	-	0,215	0,214	0,197	0,210

Fonte: Relatórios de Sustentabilidade da Klabin e Suzano, anos 2014-2018.

Da Tabela 34, observa-se que a intensidade de emissão de CO₂ foi superior na empresa Klabin em todos os anos, ou seja, maiores quantidades de CO₂ a cada tonelada de produto produzido, sendo 2018 o ano de menor de emissão no período observado, com redução de quase 7% em relação a 2017.

A indústria Suzano manteve valores de emissão constantes por produção durante o período de 2015, 2016 e 2018, com resultados próximos a 0,22 toneladas de CO₂ por tonelada de produto. Apenas no ano de 2017, foi notável a redução da intensidade de emissão, devido à redução ocorrida na emissão dos escopos 1 e 3 (vide Tabela 33).

7. CONCLUSÃO

Os relatórios de sustentabilidade das grandes indústrias de celulose possuem grande quantidade informações quanto aos aspectos ambientais abordados nesse trabalho: consumo de água, geração de resíduos sólidos, consumo e geração de energia, e emissões atmosféricas. Dentre as indústrias analisadas, a Klabin, Suzano e Veracel; a última foi mais abordada nesse trabalho, pois em seus relatórios anuais as informações mantiveram uma padronização no formato e declarações de informações apresentadas, o que facilita a interpretação e análise ambiental.

Em relação ao consumo de água, a Veracel mostrou redução considerável entre os anos de 2014 e 2018 tanto no consumo total da fábrica quanto no consumo específico (por tonelada de celulose produzida). Essa redução foi resultante de melhorias como controle de nível de tanques para redução de perdas por transbordos, reutilização de água e monitoramento diário do consumo. Já a Klabin apresentou um aumento na capacidade de reaproveitamento de água. Observa-se uma tendência de redução do consumo de água e um aumento de eficiência no processo de celulose e papel ao longo do tempo.

Quanto aos efluentes industriais, a geração anual na Veracel reduziu gradualmente ao longo dos anos avaliados assim como a geração por tonelada de produto produzido. Já os parâmetros de emissão de efluentes (como AOX, DQO, DBO, SST, nitrogênio e fósforo) os valores e intervalos limites de tecnologias BAT's e de recomendações de instituições europeias consolidadas (IPPC). Já a Klabin, devido a inauguração da nova unidade, mostrou aumento da geração de efluentes, no entanto, os parâmetros de DQO e DBO disponibilizados mostram redução de 2014 até 2018, evidenciando avanços no tratamento. Nas unidades da Suzano, foi abordado em seus relatórios de sustentabilidade os diferentes tipos de tratamento utilizados em suas unidades, e quanto a geração de efluentes, não houve grandes alterações no período analisado, já a DQO e DBO emitida por ano, reduziu notavelmente de 2014 a 2018.

Em relação a geração de Energia, apenas a Veracel e Klabin foram abordadas nesse trabalho, pois havia maior disponibilidade e históricos de informações nos relatórios dessas indústrias. A Veracel mostrou aumento tanto na geração total de energia, em GJ, quanto na geração de energia por tonelada de produto produzido, em GJ/t. No entanto, o grande destaque na geração de energia foi observado na Klabin, com aumento de 24.371.019 GJ/ano de 2014 a 2018. Porém, quando se trata de eficiência energética, os melhores resultados foram da Veracel.

Já para as emissões atmosféricas, a Veracel mostra que a taxa de emissão (t/ano) de NOx, SOx e MP aumentaram de 2014 a 2018. Apenas o TRS, apresentou redução na taxa de emissão total e específica. Em relação aos gases refrigerantes que

podem causar danos a camada de ozônio, no período analisado a quantidade reduziu para os compostos R-22 e R-141 B. A Klabin e a Suzano disponibilizam as informações dividindo as emissões em escopos 1, 2 e 3. A Klabin mostrou aumento evidente nas emissões dos 3 escopos a partir de 2016, com a inauguração da nova unidade. Já a Suzano, apresentou valores similares de emissão do escopo 2 e 3 de 2015 até 2017, e partir desse ano, em 2018, houve um aumento significativo nas emissões atmosféricas devido a adesão da unidade da Fibria ao grupo Suzano.

A Veracel mostrou também ótimos valores de consumo de água e melhorias no sistema ambiental. Além disso, foi perceptível a adesão das indústrias Veracel e Klabin no uso de combustíveis renováveis, como por exemplo alternativas como licor negro, biomassa, usinas hidrelétricas, hidrogênio e piche de tall oil.

Também foi observado a redução do uso de combustíveis não renováveis, como o óleo combustível e diesel na Veracel. Outro ponto positivo quanto a gestão ambiental das unidades, foi a redução de gases de efeito estufa da Suzano e da Klabin, quando se compara o ano de 2014 e 2018.

Assim, percebe-se uma preocupação com a prática da gestão ambiental no setor de celulose e papel de forma efetiva. A comparação de fatores ambientais entre as empresas deste setor permite avaliar a eficiência ambiental a partir de índices ambientais associados a legislação e a produção. A publicidade dos resultados ambientais por setor industrial permite o acompanhamento das empresas quanto aos resultados dos sistemas ambientais, bem como a definição de novos parâmetros ambientais associados a produção industrial.

De modo geral, a compilação anual dessas informações mostra que as grandes indústrias de celulose acompanham e monitoram os parâmetros ambientais e cada vez mais buscam e soluções e tecnologias ambientalmente adequadas. Como é o caso dos resíduos sólidos da indústria Veracel apresentam redução na geração e também, um avanço no índice de reciclagem com uso de dregs e grits como corretivo de solo, utilização de lodos como material fertilizante etc.

REFERÊNCIAS

ALMADA, R. B. **Avaliação de reatores de leito móvel com biofilme (mbr) em série para tratamento de diferentes efluentes de refinaria de petróleo visando ao reúso industrial**. 2012. 318f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

ALMEIDA, A. A. R. **Avaliação técnica, econômica e ambiental do aproveitamento de lodos como combustível em fábrica de celulose**. 2019. 95f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2019.

AMARAL, K. J. **Uso da água em indústria de Papel e Celulose sob a ótica da Gestão de Recursos Hídricos**. 2008. 187f. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/gestao-da-agua/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos/>>. Acesso em: 10 de novembro de 2019.

ARAÚJO, G. E.; GONÇALVES, B. C.; CERON, L. P. Avaliação do condensado limpo para a integração de processo em uma indústria de celulose. **R. bras. Planej. Desenv.**, Curitiba, v. 7, n. 3, Edição Especial Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, p.444-459, ago. 2018.

AREDES, D. R. **A Evolução do Papel e suas Formas de Conservação**. 2014. 47f. Tese (Pós-Graduação) - Centro de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Federal de Santa Maria, São Lourenço do Sul, 2014.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (Brasil). BNDES 60 anos: perspectivas setoriais. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2012. p. 334-381. ISBN: 9788587545442 (v.1).

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, Modelos e Instrumentos**. 2 ed. São Paulo: Ed Saraiva, 2007.

BARRETO, V. C. M. **Resíduos de indústria de celulose e papel na Fertilidade do solo e no desenvolvimento de Eucalipto**. 2008. 73f. Tese (Doutorado) - faculdade de ciências agrárias e veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

BICHUETI, R. S.; SCHERER, I. B.; GOMES, T. C.; GOMES, C. M. O Desenvolvimento Sustentável e a Indústria de Água Mineral Brasileira. **XIV SemeAD – Seminários em Administração**, out.2011.

BOLICENHA, Flávia Siquinelli. **Gestão Ambiental na Contabilidade das Indústrias de Papel e Celulose**. UFPR, 2013. 41f. Tese (Pós-Graduação) - Setor de ciências sociais aplicadas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BORGES, M. T.; SIGAKI, C. K.; CINQUE, U. C.; CONTESSOTO, V. C. Valorização econômica e ambiental dos resíduos: um estudo de caso da fibria-ms celulose sul mato-grossense. **O PAPEL**. vol. 77, n.12, p. 92-97. dez. 2016.

CONDE, B; OLIVEIRA, C; MIRANDA, G; AMUROV, H. P; BOTTINO, M. A; ALMEIDA, P; BOTINHA, R; SEVERIEN, S. Relatório de Sustentabilidade 2018 Suzano. Disponível em: < https://storage.googleapis.com/stateless-site-suzano-com-br/2020/01/RA_Suzano_2018_v16_2s-1.pdf> Acesso em: 25 de março de 2020.

BRANDÃO, M. D. **Avaliação operacional da estação de tratamento de efluentes de uma indústria de papel**. 2014. 87f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

BRASIL. Lei nº 12305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm >. Acesso em: 01 nov. 2019.

BRASIL. Resolução nº 3, de 28 de junho de 1990. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar, previstos no PRONAR. Conselho Nacional do Meio Ambiente. p. 15937-15939. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=100> >. Acesso em: 01 nov. 2019.

BRASIL. Resolução nº 5, de 15 de junho de 1989. Dispõe sobre o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar – PRONAR. Conselho Nacional do Meio Ambiente. p. 14713-14714. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=81> >. Acesso em: 01 nov. 2019.

BRASIL. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Conselho Nacional do Meio Ambiente. p. 58-63. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf> >. Acesso em: 01 nov. 2019.

BRASIL. Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas. Conselho Nacional do Meio Ambiente. p. - Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res38206.pdf> >. Acesso em: 01 nov. 2019.

BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. p. 89-97. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res11/res43011.pdf> >. Acesso em: 01 nov. 2019.

BRASIL. Resolução nº 436, de 22 de dezembro de 2011. Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas instaladas ou com pedido de licença de instalação anteriores a 02 de janeiro de 2007. Conselho Nacional do Meio Ambiente. p. 304-311. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660> >. Acesso em: 01 nov. 2019.

BRASIL. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. Conselho Nacional do Meio Ambiente. p. 155-158. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=740> >. Acesso em: 01 nov. 2019.

BURUBERRI, L. H. **Uso de lamas e cinzas da indústria da celulose em clínquer**. 2014. 152f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Aveiro, 2014.

CABRERA, María Noel. Pulp Mill Wastewater: Characteristics and Treatment.

CASTRO, Heizir F. **Processos Químicos Industriais II**. 2009. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de Lorena (EEL).

CELULOSE ONLINE. **Indústria baiana de celulose tem redução recorde no uso de água**. 2019. Disponível em: < <https://www.celuloseonline.com.br/industria-baiana-de-celulose-tem-reducao-recorde-no-uso-de-agua/>> Acesso em: 01 de maio de 2020.

CELULOSE ONLINE. **Veracel reduz uso de água em procedimento para controle de poeira.** 2019. Disponível em: < <https://www.celuloseonline.com.br/veracel-reduz-uso-de-agua-em-procedimento-para-controle-de-poeira/> > Acesso em: 03 de maio de 2020.

CETESB. Guia Técnico Ambiental da Indústria de Papel e Celulose - Série P+L, São Paulo, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2008.

CETESB. Guia de melhor tecnologia prática disponível (MTPD), São Paulo, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 2014.

CIERO, A. D; PEREIRA, L. B; DUBOIS, P. A; SATO, T; SOARES, T. M; BATISTA, V. P. Relatório de Sustentabilidade 2014 Suzano. 64 p. Disponível em: < https://storage.googleapis.com/stateless-site-suzano-com-br/2020/03/6521e219-relatorio_sustentabilidade_2014.pdf > Acesso em: 26 de março de 2020.

CIERO, A. D; PORTO, M; SATO, T; BRAGA, E; SANTOS, M. A. B. G; MAGNABOSCO, A; PARISOTTO, V. SERRANO, L. Relatório de Sustentabilidade 2016 Veracel. Disponível em: < <https://storage.googleapis.com/stateless-site-suzano-com-br/2020/04/fc643a5c-relat%C3%B3rio-de-sustentabilidade-2016.pdf> > Acesso em: 17 de março de 2020.

CIERO, A. D; PORTO, M; SATO, T; BRAGA, E; SANTOS, M. A. B. G; MAGNABOSCO, A; PARISOTTO, V. CARLINI, R. Relatório de Sustentabilidade 2017 Suzano. Disponível em: < https://storage.googleapis.com/stateless-site-suzano-com-br/2020/02/Relatorio_2017.pdf > Acesso em: 14 de abril de 2020.

CONSUMO SUSTENTÁVEL: Manual de educação. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/IDEC, 2005. 160 p.

Confederação Nacional da Indústria. O uso racional da água no setor industrial. Confederação Nacional da Indústria, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. 2. Ed. Brasília: CNI, 2017.

DIEL, C. L. **Modelagem matemática do processo de Evaporação do Licor negro proveniente do sistema de lavagem da polpa celulósica**. 2013. 101f. Dissertação (Mestrado) - Setor de ciências sociais aplicadas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013.

FAVARO, J. S. C. **Estudos da Polpação Kraft, Branqueamento e Refino de Eucalyptus grands x Eucalyptus urophylla**. 2015. 180f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

FIEP. Panorama setorial: indústria de celulose, papel, embalagens e artefatos de papel: Paraná 2016. Federação das Indústrias do Estado do Paraná e Sindicato das Indústrias de Papel, Celulose e Pasta de Madeira para Papel, Papelão e de Artefatos de Papel e Papelão do Estado do Paraná. Curitiba: FIEP, 2016.

FOELKEL, C. A madeira do Eucalipto para a Produção de Celulose: Entendendo a Construção do Indicador de Consumo específico de madeira para Produção de Celulose Kraft. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 2017.

FOELKEL, C. Utilização dos conceitos da Ecoeficiência na Gestão do consumo de água e da geração de efluentes hídricos no processo de celulose Kraft de Eucalipto. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 2011.

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

FOELKEL, C. Resíduos sólidos industriais da produção de celulose Kraft de Eucalipto: Resíduos orgânicos fibroso. **Eucalyptus Online Book & Newsletter**, 2007.

FONSECA, M. G. D. A indústria de Papel e Celulose no Brasil: Um Estudo sobre a Competitividade e Meio Ambiente. **Informações Econômicas**, SP, v.25, n.10, out. 1995.

FRANCO, D; GANGA, G. M. D.; SANTA-EULALIA, L. A. Gestão Ambiental em Cadeia de Suprimentos: Revisão sistemática da literatura. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 17, n. 1, p. 295-324, jan./mar. 2017.

FRITOLI, C. L.; KRUGER, E.; CARVALHO, S. K. P. História do papel: panorama evolutivo das técnicas de produção e implicações para sua preservação. **RICI: R. Ibero-amer. Ci**, Brasília, v. 9, n. 2, p. 475-502, jul./dez.2016.

GERMER, E.; MÉTAIS, A.; HOSTACHY, J. Cinco Obstáculos no Caminho de uma Nova Tecnologia. **Revista O Papel**. p. 53-57, mar.2012.

GIROLETTI, C. L. **Processo oxidativo avançado uv/h₂o₂ aplicado como pós-tratamento de águas residuárias da indústria de papel e celulose**. 2017. 111f. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós-graduação em engenharia ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

GUAGLIANONI, L. G.; PIRES, E. C.. Compostos Organoclorados em Efluentes da Indústria de Papel e Celulose degradam Anaerobiamente?. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.569-581, set. 1997.

GUAITOLINI, M. **Estudo da queima do lodo secundário da indústria de celulose em caldeira de leito fluidizado**. 2014. 52f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

GUERATO, G.; JUNIOR, J. R. R. **Otimização dos evaporadores tipo falling film de uma planta de Evaporação do licor negro proveniente do processo de digestão da madeira – kraft, através da modificação do processo de lavagem visando o aumento da capacidade da unidade.** 2012. 167f. Monografia (TCC) – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2012

HILGEMBERG, E M; BACHA, C. J. C. As Pressões ambientais e as Alterações na demanda e oferta mundial de Celulose. **PESQUISA & DEBATE**, São Paulo, v.11, n. 2, p. 67-92, 2000.

IMAI, M. H. **Aproveitamento energético do lodo de ETEI de indústria de papel no município de Correia pinto/sc.**2010. 39f. TCC (Graduação) - Centro tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina., Florianópolis, 2010.

JUSBRASIL. **Comissão mantém uso de dióxido de cloro na fabricação de papel.** 2009. Disponível em: <https://cd.jusbrasil.com.br/noticias/1745582/comissao-mantem-uso-de-dioxido-de-cloro-na-fabricacao-de-papel/> Acesso em: 09 de novembro de 2019.

JUNIOR, M. K. **Proposta de reuso de águas na Indústria de Produção de celulose e papel Kraft.** 2011. 107f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

KLITZKE, W. **Utilização de lodo primário de indústria de papel na produção de cerâmica vermelha.** 2011. 82f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

KLOCK, U.; ANDRADE, A. S.; HERNANDEZ, J. A. **Polpa e Papel.** 2013. 118f. Material didático - Setor de ciências agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

KUZMA, E. L.; NOVAK, M. A. L.; DENKEWICZ, L.; GONZAGA, C. A. M. Impactos ambientais de uma empresa de processamento de papel no município de Irati/PR. **Congresso Internacional de Administração**, Ponta Grossa, 2017.

LOPES, C. R. A.; CONTADOR, C. R. **Análise da indústria de papel e celulose no Brasil**. 1998, 130 f. Tese (Doutorado em Administração e Gestão de Negócios), Instituto de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

LUSTOSA, M. C. J. **Meio Ambiente, Inovação e Competitividade na Indústria Brasileira: a cadeia produtiva do petróleo**. 2002. 246 f. Tese (Doutorado) - instituto de economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

MAÇANEIRO, M. B.; CUNHA, S. K.; KUHLMANN, M. R.; CUNHA, J. C. A Regulamentação Ambiental Conduzindo Estratégias Ecoinovativas na Indústria de Papel e Celulose. **RAC - Revista de Administração Contemporânea**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 65-83, jan./fev. 2015.

MATIAS, D. V. S. **Análise do potencial de valorização dos resíduos de licor verde da Indústria de pasta de papel**. 2012. 69f. Tese (Mestrado), Universidade de Coimbra, Coimbra, 2012.

MARTINS, D. F. **Estudo da influência da hidrólise ácida da celulose extraída do capim Mombaça na produção de nanocristais de celulose com diferentes estruturas polimórficas**. 2016. 135f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

MEDEIROS, C. C. R; GOMES, C; MELLO, C. M; JORGE, D. S. F; PINHO, A. N; BRITTO, E. A; SILVA, F. A; AMOEDO, H. J; BIANCHI, I. P. S; REIS, J. B; OLIVEIRA, K. G; CASTRO, L. C. M; TÁPIA, L. H; DANIEL, M. A; FERREIRA, M. Z; FIGUEIREDO, M. R; MIGRAY, R. C; MATOS, T. A; PINTO, V. D. S; CAMARGOS, V. L. Relatório de

Sustentabilidade 2014 Veracel. 53 p. Disponível em: < <https://www.veracel.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Relatorio-de-Sustentabilidade-Veracel-2013.pdf>> Acesso em: 20 de maio de 2020.

MELLER, J. G. **Obtenção de clínquer de baixa energia a partir de resíduos da indústria de papel e celulose.** 2017. 111F. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós- Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MIELLI, J. C. A. **Sistemas de Avaliação Ambiental na Indústria de Celulose e Papel.** 2007. 111f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Uso de Fluidos Alternativos em Sistemas de Refrigeração e Ar Condicionado.** Brasília, 2011.

MOURA, J. M.; SOUZA, T. M.; LOURENÇO, G. Z.; VILLEGAS, T. Ap.; PINZÓN, F. M. **Análise da eficiência energética em Segmentos industriais selecionados,** 2018.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **População mundial deve chegar a 9,7 bilhões de pessoas em 2050, diz relatório da ONU.** Disponível em: < <https://nacoesunidas.org/populacao-mundial-deve-chegar-a-97-bilhoes-de-pessoas-em-2050-diz-relatorio-da-onu/> > Acesso em: 05 de outubro de 2019.

NASCIMENTO, B. B. **Efeito da cinza de biomassa florestal na fertilidade e na sorção de imazetapir em solos ácidos.** 2013. 66f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

NUNES, L. F. M. **Consumo de água e geração de Efluentes Líquidos na indústria de Papel e Celulose.** 2013. Monografia (Especialização), Universidade Norte do Paraná, Salvador, 2013.

OSORIO, E. G. **Industria de papel e celulose: Estudo de caso da Implantação da VCP Florestal no Extremo Sul do Rio Grande do Sul**. 2007. Monografia - Departamento de ciências econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

OSTRENSKY, V. P.; GARCIA, J. R. A cobrança pelo uso da água na região metropolitana de Curitiba: uma análise dos impactos econômicos no setor industrial. **Rev. FAE**, Curitiba, v. 20, n. 2, p. 7 - 20, jul./dez. 2017.

PAULA, K. R. **Análise da Sulfidez no Processo KRAFT em uma indústria de Celulose**. 2017. 78f. Projeto de Pesquisa (TCC), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

PEITZ, C. **Desempenho de sistema modificado de lagoa aerada com meio de suporte em leito móvel no tratamento de efluente de celulose kraft**. 2018. 83f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

PEREIRA, F. I. **Gestão Ambiental e Aspectos Estruturais em Empresas Industriais Catarinenses**. 2015. 246f. Dissertação (Mestrado), Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: Universidade federal de Viçosa, 2007.

PINHEIRO, O. S. **Modelagem e otimização do rendimento de uma caldeira de recuperação em uma indústria de celulose Kraft**. 2011. 85f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano, 2011.

PINHO, A. N; COSTA, A. L. F; MEDEIROS, C. C. R; BRAGA, D. M; SOARES, D. F. Q; BAQUIÃO, G. C; BIANCHI, I. P. S; SILVA, M. A; FERREIRA, M. Z; PIMENTA, M; JANGO, O; GOMES, P. S; MONTEIRO, S. R. C; MATOS, T. A; SANTOS, T. M; FREITAS, V. D. P; CAMARGOS, V. L; SENA, W. M. Relatório de Sustentabilidade 2018 Veracel. 104p. Disponível em: < https://www.veracel.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Relatorio_2019_portugues_BAIXA.pdf>. Acesso em: 10 de junho de 2020.

PINHO, A. MEDEIROS, C. C. R; GOMES, C; SILVA, C. M. K; MELLO, C. M; BRAGA, D. M; JORGE, D. S. F; SILVA, F. A; AMOEDO, H. J; BIANCHI, I. P. S; REIS, GERIN, K; TÁPIA, L. H; DANIEL, M. A; PAGOTO, M. A; FERREIRA, M. Z; FIGUEIREDO, M. R; FERNANDES, M. B; GOMES, P. S; CARVALHO, R. L; LIMA, S. P. B; SILVA, S. P; MONTEIRO, S. R. C; COLMAN, S. R. P; MATOS, T. A; VIANA, T. A. D; PINTO, V. D. S; CAMARGOS, V. L. Relatório de Sustentabilidade 2017 Veracel. 88 p. Disponível em: https://www.veracel.com.br/wp-content/uploads/2020/05/RELATORIO_FINAL_2018_final.pdf> Acesso em: 05 de junho de 2020.

PINHO, A. MEDEIROS, C. C. R; GOMES, C; SILVA, C. M. K; MELLO, C. M; BRAGA, D. M; JORGE, D. S. F; SILVA, F. A; AMOEDO, H. J; BIANCHI, I. P. S; REIS, GERIN, K; TÁPIA, L. H; DANIEL, M. A; PAGOTO, M. A; FERREIRA, M. Z; FIGUEIREDO, M. R; FERNANDES, M. B; GOMES, P. S; CARVALHO, R. L; LIMA, S. P. B; SILVA, S. P; MONTEIRO, S. R. C; COLMAN, S. R. P; MATOS, T. A; VIANA, T. A. D; PINTO, V. D. S; CAMARGOS, V. L. Relatório de Sustentabilidade 2016 Veracel. 80 p. Disponível em: < https://www.veracel.com.br/wp-content/uploads/2020/05/relatorio_17.pdf > Acesso em: 01 de junho de 2020.

PINHO, A. MEDEIROS, C. C. R; GOMES, C; MELLO, C. M; BRAGA, D. M; JORGE, D. S. F; BRITTO, E. A; SILVA, F. A; AMOEDO, H. J; BIANCHI, I. P. S; REIS, GERIN, K; TÁPIA, L. H; DANIEL, M. A; PAGOTO, M. A; FERREIRA, M. Z; FIGUEIREDO, M. R;

FERNANDES, M. B; CARVALHO, R. L; LIMA, S. P. B; SILVA, S. P; MONTEIRO, S. R. C; COLMAN, S. R. P; MATOS, T. A; VIANA, T. A. D; PINTO, V. D. S; CAMARGOS, V. L. Relatório de Sustentabilidade 2015 Veracel. 51 p. Disponível em: < <https://www.veracel.com.br/wp-content/uploads/2020/05/RS2015.pdf>> Acesso em: 25 de maio de 2020.

PINTO, A. C. A.; RODRIGUES, L. S.; OLIVEIRA, P. R.; SPERLING, M. V.; CRISÓSTOMO, C. M.; SILVA, I. J. Eficiência de lagoas de polimento no pós-tratamento de reator UASB no tratamento de águas residuárias de suinocultura. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.** v.66, n.2, p.360-366, nov. 2014.

Relatório de Sustentabilidade Klabin 2014. Acesso em: 27 de maio de 2020. Disponível em: < <https://rs2014.klabin.com.br/>>.

Relatório de Sustentabilidade Klabin 2015. Acesso em: 30 de maio de 2020. Disponível em: < <https://rs2015.klabin.com.br/>>.

Relatório de Sustentabilidade Klabin 2016. Acesso em: 01 de junho de 2020. Disponível em: < <https://rs2016.klabin.com.br/>>.

Relatório de Sustentabilidade Klabin 2017. Acesso em: 01 de junho de 2020. Disponível em: < <https://rs2017.klabin.com.br/>>.

Relatório de Sustentabilidade Klabin 2018. Acesso em: 01 de junho de 2020. Disponível em: < <https://rs2018.klabin.com.br/>>.

RIBEIRO, A. P. **Avaliação do uso de resíduos sólidos orgânicos da produção de celulose em materiais cerâmicos.** 2010. 142f. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RODRIGUES, A. K. A. **Indústrias de Papel e Celulose: Riscos Ambientais e à saúde**. 2018. 33f. Monografia (Especialização), Universidade de Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

ROTHER, Edna Terezinha. Revisão sistemática X revisão narrativa. **Acta paul. enferm.** v.20, n.2, abr./jun, 2007.

SAMPAIO, R. F; MANCINI, M. C. Estudos de Revisão sistemática: Um guia para a síntese criteriosa da evidência científica. **Rev. bras. fisioter.**, São Carlos, v. 11, n. 1, p. 83-89, jan./fev. 2007.

SBRUZZI, E. K. **Cinza de biomassa florestal para aplicação nas culturas do feijão e do milho**. 2017. 64f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

SILVEIRA, G. E. **Sistemas de Tratamento de Efluentes industriais**. 2010. 42f. TCC (Graduação), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

SIMÃO, L. **Desenvolvimento e aplicação de ecoclínquer obtido a partir de resíduos do setor de papel e celulose**. 2016. 112f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2016.

SILVA, J. C. B.; QUELHAS, O. L. G.; AMORIN, M. F. Análise comparativa de modelos e práticas de gestão ambiental em pequenas e médias empresas do setor da construção civil a partir de estudos teóricos. **Interações**, v. 18, n. 1, p. 151-164, jun./mar. 2017.

SILVA. F. R.; ALBUQUERQUE, J. A.; GATIBONI, L. C.; COSTA, A. Uso da cinza da combustão de biomassa florestal como corretivo de acidez e fertilidade de um Cambissolo Húmico. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. v.12, n.3, p. 304-313, mar. 2013

SOARES, T. S.; CARNEIRO, A. C. O.; GONÇALVES, E. O.; LELLES, J. G. Uso da biomassa florestal na geração de energia. **Revista científica eletrônica de engenharia florestal**. Ano IV, n.08, ago. 2006.

TEIXEIRA, M. B. H.; OLIVEIRA, R. A.; GATTI, T. H.; SUAREZ, P. O Papel: Uma Breve Revisão Histórica, Descrição da Tecnologia Industrial de Produção e Experimentos para Obtenção de Folhas Artesanais. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 3, p. 1364-1380, jun.2017.

TORRES, M. M. E. T. **Incorporação de dregs e grits de fábricas de polpa celulósica Kraft ao clínquer para a produção de cimento Portland**. UFV, 2016. 108f. Tese (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

VENTORIM, Gustavo; COLODETTE, Jorge L; COSTA, Marcelo M. da; BRITO, Ana Campos de. Branqueamento ECF e TCF de Celulose de Fibras Secundárias. **Ciência Florestal**, v. 9, n. 2, p. 41-54, 1999.

ZANELLA, B. P. **Aproveitamento de resíduos de indústria de celulose e papel em argamassa mista de revestimento interno**. 2011. 66f. Tese (Mestrado), Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2011.

ANEXOS

ANEXO 1

PADRÕES DE QUALIDADE DO AR

Poluente Atmosférico	Período de Referência	PI-1	PI-2	PI-3	PF	ppm
		µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	
Material Particulado - MP ₁₀	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Material Particulado - MP _{2,5}	24 horas	60	50	37	25	-
	Anual ¹	20	17	15	10	-
Dióxido de Enxofre - SO ₂	24 horas	125	50	30	20	-
	Anual ¹	40	30	20	-	-
Dióxido de Nitrogênio - NO ₂	1 hora ²	260	240	220	200	-
	Anual ¹	60	50	45	40	-
Ozônio - O ₃	8 horas ³	140	130	120	100	-
Fumaça	24 horas	120	100	75	50	-
	Anual ¹	40	35	30	20	-
Monóxido de Carbono - CO	8 horas ³	-	-	-	-	9
Partículas Totais em Suspensão - PTS	24 horas	-	-	-	240	-
	Anual ⁴	-	-	-	80	-
Chumbo - Pb ⁵	Anual ¹	-	-	-	0,5	-
¹ - média aritmética anual						
² - média horária						
³ - máxima média móvel obtida no dia						
⁴ - média geométrica anual						
⁵ - medido nas partículas totais em suspensão						