

CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI  
PATRICIA LIMA NOGUEIRA GIACCHETTI

**INOVAÇÃO AMBIENTAL TECNOLÓGICA DE PROCESSO PARA MITIGAR  
IMPACTOS AMBIENTAIS SIGNIFICATIVOS:** Um estudo de casos múltiplos na  
indústria de celulose

São Paulo

2019

PATRICIA LIMA NOGUEIRA GIACCHETTI

**INOVAÇÃO AMBIENTAL TECNOLÓGICA DE PROCESSO PARA MITIGAR  
IMPACTOS AMBIENTAIS SIGNIFICATIVOS: Um estudo de casos múltiplos na  
indústria de celulose**

Tese de Doutorado apresentada ao Centro  
Universitário FEI, como requisito necessário  
para obtenção do título de Doutora em  
Administração. Orientado pela Profa. Dra.  
Maria Tereza Saraiva de Souza

São Paulo

2019

**APRESENTAÇÃO DE TESE  
ATA DA BANCA JULGADORA**

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Administração

DOUTORADO PPGA-10

**Aluno:** Patricia Lima Nogueira Giacchetti

**Matricula:** 721501-5

**Título do Trabalho:** Inovação ambiental tecnológica de processo para mitigar impactos ambientais significativos: um estudo de casos múltiplos na indústria de celulose

**Área de Concentração:** Sustentabilidade

**Orientador:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza

**Data da realização da defesa:** 29 / 11 / 2019

**Avaliação da Banca Examinadora:**

A dissertação deve fazer as seguintes proposições para  
banca

São Paulo, 29 / 11 / 2019.

**MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA**

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza**

Ass.: 

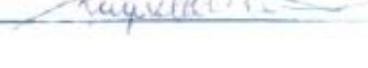
**Prof. Dr. Henrique Machado Barros**

Ass.: 

**Prof. Dr. Roberto Carlos Bernardes**

Ass.: 

**Prof. Dr. Claudio Mudadu Silva**

Ass.: 

**Prof<sup>a</sup>. Dra. Raquel da Silva Pereira**

Ass.: 

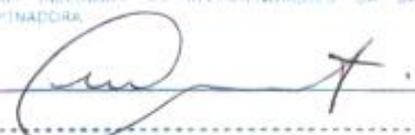
A Banca Julgadora acima-assinada atribuiu ao aluno o seguinte resultado:

APROVADO

REPROVADO

VERSÃO FINAL DA TESP

APRIMO A VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO EM QUE  
FORAM INCLUIDAS AS RECOMENDAÇÕES DA BANCA  
EXAMINADORA



Aprovação do Coordenador do Programa de Pós-graduação

  
Prof. Dr. Henrique Machado Barros

Dedico este trabalho ao passado, presente e futuro.

O passado representado pelo meu falecido pai, Francisco J. R. Nogueira referência de integridade e luta; pela minha mãe Ely L. Nogueira, referência de força e amor e por meu irmão Francisco J. R. Nogueira Filho, referência de apoio e família.

Meu presente representado pelo meu esposo Marcelo C. M. Giacchetti, por ser meu companheiro de vida; incentivar e apoiar todos os meus planos, por mais “loucos” que sejam.

Meu futuro representado pelo meu filho Gabriel, símbolo de esperança e felicidade e que me fez descobrir o amor sem medidas.

Dedico esse trabalho a vocês cinco que inspiraram e inspiram sempre o meu melhor através do apoio e do amor.

## AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus por ter me dado o dom da vida, as oportunidades e força para superar as adversidades.

A FEI - Fundação Educacional Inaciana e a CAPES – Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior, pela concessão de Bolsa de Estudo de doutorado, sem a qual não seria possível a conclusão do curso.

A Professora Doutora Maria Tereza Saraiva de Souza, minha orientadora e professora de Método de Pesquisa I, por ter visto em mim potencial para trilhar esse novo caminho e por ter me orientado durante esse processo. Agradeço também a ela a oportunidade de integrar a equipe de pesquisa de Gestão de Riscos, fundamental para o direcionamento de meus estudos.

Ao Prof. Dr. Henrique Machado Barros, Prof. Dr. Roberto Carlos Bernardes, Prof. Dra. Raquel da Silva Pereira e Prof. Dr. Claudio Mudadu Silva agradeço o aceite para participar da banca de defesa e por todas as contribuições emitidas.

Aos membros da banca de qualificação, Prof. Jacques Demajorovic e Roberto Carlos Bernardes pelas recomendações que contribuíram muito no Exame de Qualificação.

Agradeço ao coordenador do curso Prof. Dr. Henrique Barros por estar sempre disponível a nos ouvir, comprometido com o objetivo de tornar o programa cada vez melhor.

Ao professor de Estatística Prof. Edmilson Alves De Moraes por sua paciência e apoio na disciplina.

Aos professores do curso de doutorado José Mauro da Costa Hernandez, Pedro Jaime Coelho Junior, Jacques Demajorovic, Melby Karina Zuniga Huertas pelos ensinamentos das disciplinas em sala de aula e pela oportunidade de discussão de temas relevantes para o meu trabalho.

Agradeço aos meus colegas de disciplina, grupos de estudo e trabalho de pesquisa Marcelo Barbosa César, Renata Correia, Victor Degenhardt, Daiane Ribeiro, Teddy Lalande, Reny Aparecida Galvão. Agradeço, em especial, a Warton Silva, nosso monitor de Análise Multivariada de Dados, por todo seu apoio na disciplina. Agradeço também aos meus queridos colegas bolsistas da “Salinha SSO” por partilharmos juntos os momentos de concentração, alegrias e angústias.

Agradeço as secretarias do PPGA/ FEI, Carmem da Silva Carlos e Ana Paula Rodrigues bem como a bibliotecária Patrícia Fernanda Braghin, pelo apoio durante o curso.

Agradeço ao professor da Disciplina de Tomada de Decisão da FEA-USP professor Abraham Sinoih Yu pelas discussões apresentadas em sala e por me ensinar uma nova forma transmitir conhecimentos, bem como ao monitor da disciplina Claudio Marcos Vigna por me orientar no desenvolvimento do artigo final.

Agradeço as empresas CMPC, Klabin, Suzano, Fibria, Veracel e Eldorado por permitir a realização desta pesquisa. Agradeço também aos funcionários das empresas pesquisadas de celulose e papel que se disponibilizaram para marcações, visitas e entrevistas.

Agradeço a Nei Lima, responsável pela área de Meio Ambiente da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP) pelas discussões, incentivos e contatos junto às empresas de Celulose e papel.

A Marcelo Cruz, pelo apoio na tradução dos textos, pesquisa de documentos e formatação de dados. Não conseguiria sem você.

Agradeço a minha família original, a minha família anexa e amigos pelo apoio, compreensão e torcida para a finalização desta caminhada.

“Acredite firmemente  
No seu gênio criador,  
Na força ativa da mente,  
Nas maravilhas do amor...  
Quem recebe de nascença  
Uma cabeça que pensa,  
Um coração para amar...  
É feliz por toda vida,  
Tem riqueza garantida,  
Tem tudo o que desejar.”

(Autor desconhecido)

## RESUMO

A atuação das indústrias tem gerado impactos ambientais significativos ao meio ambiente, levando a necessidade de ações de prevenção e remediações em seus processos. A ausência de controle ambiental específico em indústrias, além de gerar danos, pode levar a acidentes ambientais de larga escala. Os processos produtivos e o consumo de recursos naturais das empresas definem o potencial poluidor do setor a que elas pertencem. Dentre eles, o setor de produção de polpa celulósica, além de estar listado dentre os potencialmente poluentes, é o setor que mais tem crescido no Brasil. As tecnologias ambientais têm sido utilizadas para reduzir os impactos ambientais gerados nas indústrias. O objetivo deste estudo é analisar como a inovação ambiental tecnológica de processo contribui para mitigar impactos ambientais significativos das indústrias do setor de celulose. Os instrumentos de coleta de dados utilizados foram entrevistas exploratórias e semiestruturadas, observação e pesquisa documental. A análise foi realizada por meio da triangulação de dados, comparando os dados agrupados de empresas mais modernas e empresas mais antigas. Na análise comparativa observou-se que as técnicas BAT (*best available techniques*) e tecnologias são mais aplicadas no grupo de empresas mais modernas que também possuem um melhor desempenho ambiental. Os resultados mostram ainda que as tecnologias aplicadas ao setor de papel irão permitir mitigação de impactos ambientais relacionados à energia, emissões, efluentes e consumo de água. Estas tecnologias aplicadas em cada etapa do processo levam a redução dos indicadores de PP (Potencial de Poluição) e GU (Grau de Utilização de recursos naturais) podendo alterar sua classificação no setor de alto impacto ambiental. Para estudos futuros recomenda-se então o a estruturação de uma metodologia específica para cálculo do potencial poluidor dos setores.

Palavras-chave: Inovação ambiental. Tecnologias Ambientais. Impactos ambientais. Setor de Papel e Celulose.

## ABSTRACT

The performance of industries has generated significant environmental impacts on the environment, leading to the need for preventive and remedial actions in their processes. The absence of specific environmental control in industries, in addition to causing damage, can lead to large-scale environmental accidents. The productive processes and the consumption of natural resources by companies define the polluting potential of the sector to which they belong. Among them, the cellulose pulp production sector, in addition to being listed among the potentially pollutants, is the sector that has grown the most in Brazil. Environmental technologies have been used to reduce the environmental impacts generated by industries. The objective of this study is to analyze how the technological environmental innovation of the process contributes to mitigate significant environmental impacts of the industries of the cellulose sector. The data collection instruments used were exploratory and semi-structured interviews, observation and documentary research. The analysis was carried out by means of data triangulation, comparing the grouped data of more modern companies and older companies. In the comparative analysis it was observed that BAT techniques (best available techniques) and technologies are more applied in the group of more modern companies that also have a better environmental performance. The results also show that the technologies applied to the paper sector will allow mitigation of environmental impacts related to energy, emissions, effluents and water consumption. These technologies applied at each stage of the process lead to a reduction in the indicators of PP (Pollution Potential) and GU (Degree of Use of Natural Resources), which may change their classification in the sector with a high environmental impact. For future studies, it is recommended that o structure a specific methodology for calculating the polluting potential of the sectors.

Keywords: Environmental innovation. Environmental Technologies. Environmental impacts. Pulp and Paper Sector.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de inovação ambiental.....	37
Figura 2 - Construção da complexidade ambiental na gestão de P & D.....	37
Figura 3 - Visão de entrada / saída para a produção de celulose Kraft.....	46
Figura 4 - Tipos de Sistemas de Uso de Água.....	57
Figura 5 – Aspectos ambientais no processo de celulose e papel .....	62
Figura 6 - Esquema simplificado de uma ETAR integrada (anaeróbico-aeróbio) .....	66
Figura 7 - Modelo de Análise .....	77
Figura 8 - Método de estudo de caso .....	83
Figura 9 - Convergência de evidências .....	88
Figura 10 - Triangulação de dados da pesquisa.....	93
Figura 11 - Modelo de Análise final .....	126

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Relação entre as variáveis para inovação ambiental tecnológica .....	29
Quadro 2 - Determinantes de adoção do Sistema de Gestão Ambiental .....	30
Quadro 3 - Estratégia empresarial e posicionamento da empresa .....	32
Quadro 4 - Quadro síntese sobre determinantes da inovação ambiental .....	33
Quadro 5 - Matriz de inovação .....	36
Quadro 6 - Quadro síntese sobre tipos inovação .....	39
Quadro 7 - Quadro síntese sobre energia .....	50
Quadro 8 - Uso de subprodutos de produção para energia .....	51
Quadro 9 - Novas tecnologias de pré-tratamento de matérias-primas .....	52
Quadro 10 - Tecnologias de Polpação Emergentes .....	52
Quadro 11 - Tecnologias emergentes de subproduto.....	53
Quadro 12 - BATs sobre energia .....	54
Quadro 13 - Quadro síntese sobre consumo de água.....	56
Quadro 14 - Quadro Síntese de Recursos Hídricos .....	58
Quadro 15 - Impactos gerados pela poluição hídrica.....	59
Quadro 16 - Características das águas residuárias da Indústria de Celulose .....	61
Quadro 17 - Quadro síntese sobre efluentes da indústria de papel e celulose.....	63
Quadro 18 - Aspectos e impactos ambientais de efluentes .....	65
Quadro 19 - Tipos de tratamento de águas residuárias .....	65
Quadro 20 - Tratamento de Águas residuárias .....	67
Quadro 21 – BAT para prevenção de poluição e tratamento de efluentes .....	68
Quadro 22 - Aspectos e impactos ambientais gerados por emissões da indústria de celulose	69
Quadro 23 - Características físicas dos compostos de enxofre reduzidos .....	70
Quadro 24 – Quadro síntese sobre impactos ambientais de emissões e gases do efeito estufa. .....	71
Quadro 25 - Relação entre o potencial poluidor e estimativa de emissões. ....	72
Quadro 26 - Potencial Poluidor da atmosfera em processo de combustão .....	73
Quadro 27 - MAPP e Dissipação de Poluentes .....	73
Quadro 28 – BATs para tratamento de emissões.....	75
Quadro 29 - Empresas para estudo de caso Empresas .....	85
Quadro 30 - Unidades Visitadas .....	86
Quadro 31 - Grupos de Análise .....	87

Quadro 32 - Perfil e Tempo das Entrevistas.....	89
Quadro 33 - Etapas da coleta de dados .....	90
Quadro 34 - Categorias teóricas e instrumentos de coleta de dados.....	91
Quadro 35 - Categorias e objetivos da análise de dados.....	92
Quadro 36 – Categoria Grupos de Pressão – Subcategoria Forças Internas .....	96
Quadro 37 - Categoria Grupos de Pressão – Subcategoria Parcerias .....	98
Quadro 38 - Categoria Grupos de Pressão – Subcategoria Autoridades, Clientes, organizações verdes e questões climáticas. ....	99
Quadro 39 - Categoria Políticas Ambientais .....	100
Quadro 40 – Categoria P&D Verde – Subcategoria Busca de Soluções .....	102
Quadro 41 - Resumo da BAT Consumo e Eficiência Energética e Tecnologias Associadas	103
Quadro 42 - Resumo da BAT Consumo de Energia e suas tecnologias .....	105
Quadro 43 - Resumo da BAT Eficiência Energética e suas tecnologias associadas .....	106
Quadro 44 - Médias de indicadores sobre energia.....	107
Quadro 45 - Resumo da BAT Redução do Consumo de Água Doce e suas tecnologias .....	108
Quadro 46 - Médias de Indicadores sobre Consumo de Água .....	109
Quadro 47- Resumo da BAT de Armazenamento e preparação de madeira e tecnologias associadas .....	110
Quadro 48- Resumo da BAT de águas residuais e emissões para a água no processo de polpa <i>kraft</i> e tecnologias associadas.....	111
Quadro 49 - Resumo das BATs de Monitoramento (efluentes) e suas tecnologias .....	112
Quadro 50- Médias e Parâmetros Restritivos de Efluentes. ....	113
Quadro 51 - Resumo das BATs, técnicas e tecnologias para SOX. ....	114
Quadro 52 - Resumos das BATs, técnicas e tecnologias para NOX .....	116
Quadro 53 - Resumo das BATs, técnicas e tecnologias para material particulado. ....	118
Quadro 54 - Resumo da BAT Emissões de Odor Proveniente do Sistema de Águas residuárias e suas Tecnologias .....	119
Quadro 55 – Resumo das BATs, técnicas e tecnologias para emissão de odores provenientes de outras fontes. ....	121
Quadro 56 - Resumo da BAT de monitoramento (odor) .....	122
Quadro 57 - Médias e Parâmetros Restritivos de Emissões.....	124

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABTCP	Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel
ACV	Análise do Ciclo de Vida
AFS	Análise de Fluxo de Substância
AOX	Compostos Organo-halogenados Adsorvíveis
AP	<i>Acidification Potential</i>
API	<i>Climate Air Pollution Index</i>
AS	<i>Activated Sludge</i>
ATP	<i>Aquatic Toxicity Potential</i>
BAT	<i>Best Available Techniques</i>
BEA	Bacia de Estabilização Aerada
BEF	Bacia de Estabilização Facultativa
BEI	<i>BAT Emission Index</i>
BI	<i>Biodegradability Index</i>
BioA	<i>Bioaugmentation</i>
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
BREF-PP	<i>Best Available Techniques Reference Document for Pulp and Paper Manufacturing</i>
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
CaO	Óxido de cálcio
CE	Comunidade Europeia
CEE	Comunidade Econômica Europeia
CEPI	<i>Confederation of European Paper Industries</i>
CER	Composto de Enxofre Reduzido
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CFI	Corporação Financeira Internacional
CH <sub>3</sub> SH	Metilmercaptana
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	Dimetil Sulfeto
(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	Dimetil Dissulfeto
CH <sub>4</sub>	Metano
Cl <sub>2</sub>	Gás cloro

ClO <sub>2</sub>	Dióxido de cloro
CO	Monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
COD	<i>Chemical Oxygen Demand</i>
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COV-NM	Composto Orgânico Volátil Não Metano
CSR	<i>Corporate Social Responsibility</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCS	<i>Dissolved and Colloidal Substances</i>
DO	<i>Dissolved Oxygen</i>
DQO	Demanda química de Oxigênio
DTPA	Dietilenotriaminapentaacético
ECF	<i>Elemental Chlorine Free</i>
ECME	<i>Economic and Cross media Effect</i>
EDTA	Ácido Etilenodiamino Tetra-Acético
EEC	<i>European Economic Community</i>
E EI	<i>Environmental Emission Index</i>
EMAS	<i>Environmental Management and Auditing Scheme</i>
EOW	<i>End of Waste</i>
EP	<i>Eutrophication Potential</i>
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuárias
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
ETR	Enxofre Total Reduzido
EU	<i>European Union</i>
FeCl <sub>3</sub>	Cloreto férrico
GBM	Grupo Banco Mundial
GEE	Gases do Efeito Estufa
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i>
GU	Grau de Utilização dos Recursos Naturais
GWP	<i>Global Warning Potential</i>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrogênio
H <sub>2</sub> S	Sulfeto de Hidrogênio
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido sulfúrico

HTP	<i>Human Toxicity Potential</i>
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
IFC	<i>International Finance Corporation</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPPC	<i>Integrated Pollution Prevention and Control</i>
LB	Licor Branco
LBIO	<i>Literature-Based Innovation Output</i>
LSP	<i>Low Sludge Production</i>
MAPP	<i>Meteorological Air Pollution Potential</i>
MDIC	Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços
MgSO <sub>4</sub>	Sulfato de magnésio
MLSS	<i>Mixed Liquor Suspended Solid</i>
MPA	<i>Meteorological Potential of the Atmosphere</i>
MPD	Melhores Práticas Disponíveis
MTD	Melhores Técnicas Disponíveis
N	Nitrogênio
N <sub>2</sub> O	Óxido nitroso
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Carbonato de sódio
Na <sub>2</sub> S	Sulfeto de sódio
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Sulfito de sódio
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sulfato de sódio
NaClO <sub>3</sub>	Clorato de sódio
NaClO	Hipoclorito de sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
NF	Nano Filtração
NIS	<i>National Innovation Systems</i>
NO <sub>x</sub>	Óxidos de Nitrogênio
O <sub>2</sub>	Oxigênio
O <sub>3</sub>	Ozônio
ODP	<i>Stratospheric Ozone Depletion Potential</i>
OECD	<i>The Organisation for Economic Cooperation and Development</i>
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento

PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PP	Potencial de Poluição
PTM	Polpa Termo Mecânica
RAS	<i>Return Activated Sludge</i>
RFID	<i>Radio Frequency Identification</i>
RLC	Reator Leito Compactado
RLF	Reator de Leito Fluidizado
RSC	<i>Reduced Sulfur Compounds</i>
RSM	<i>Response Surface Methodology</i>
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
SI	Simbiose Industrial
SO <sub>2</sub>	Dióxido de Enxofre
SS	<i>Suspended Solids</i>
SST	Sólidos Suspensos Totais
SVI	<i>Sludge Volume Index</i>
TAC	Termo de Ajuste de Conduta
TCF	<i>Totally Chlorine Free</i>
TDS	<i>Total Dissolved Solids</i>
TOC	<i>Total Organic Carbon</i>
TOFP	<i>Tropospheric Ozone Formation Potential</i>
TRS	<i>Total Reduced Sulfur</i>
TSS	<i>Total Suspended Solids</i>
UAF	<i>Upflow Anaerobic Filter</i>
EU	União Europeia
UV	Ultra Violeta
VOC	<i>Volatile organic compounds</i>

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	18
1.1	JUSTIFICATIVA E QUESTÃO DE PESQUISA .....	22
1.2	OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS .....	23
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	24
2	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	25
2.1	INOVAÇÃO AMBIENTAL .....	25
2.1.1	<b>Determinantes da inovação</b> .....	27
2.1.2	<b>Indicadores da inovação ambiental</b> .....	34
2.1.3	<b>Tipos de inovação ambiental</b> .....	35
2.1.4	<b>Inovação ambiental tecnológica de processo</b> .....	40
2.2	TECNOLOGIAS AMBIENTAIS DE PROCESSOS EM INDÚSTRIA DE CELULOSE .....	44
2.2.1	<b>Redução no grau de utilização dos recursos naturais</b> .....	47
2.2.2	<b>Redução de potencial de poluição na indústria de papel e celulose</b> .....	58
2.3	MODELO DE ANÁLISE .....	76
3	<b>MÉTODO DE PESQUISA</b> .....	82
3.1	ABORDAGEM METODOLÓGICA .....	82
3.2	AMOSTRA TEÓRICA .....	84
3.2.1	<b>Critérios para escolha da amostra teórica</b> .....	84
3.3	INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS .....	87
3.4	ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS .....	92
4	<b>RESULTADOS DA PESQUISA</b> .....	96
4.1	DETERMINANTES DA INOVAÇÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE .....	96
4.2	TECNOLOGIAS E INDICADORES DE CONSUMO DE ENERGIA .....	102
4.3	TECNOLOGIAS E INDICADORES DE CONSUMO DE ÁGUA .....	108
4.4	TECNOLOGIAS E INDICADORES DE EFLUENTES .....	109
4.5	TECNOLOGIAS E INDICADORES DE EMISSÕES .....	114
5	<b>ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b> .....	125
5.1	<b>GRAU DE UTILIZAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS: ENERGIA</b> .....	129

5.2	GRAU DE UTILIZAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS: ÁGUA .....	132
5.3	POTENCIAL POLUIDOR: EFLUENTES.....	134
5.4	POTENCIAL POLUIDOR: EMISSÕES .....	139
6	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	143
6.1	PRINCIPAIS CONCLUSÕES .....	143
6.2	LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	147
6.3	RECOMENDAÇÕES .....	148
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	149
	<b>APÊNDICE A – CATEGORIAS E INDICADORES AMBIENTAIS DO GRI G4</b> .....	164
	<b>APÊNDICE B - COMPARAÇÕES ENTRE OS DEMAIS PARÂMETROS DE POLUIÇÃO HÍDRICA ESTABELECIDAS NA LEGISLAÇÃO</b> .....	166
	<b>APÊNDICE C - COMPARAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS DE EMISSÕES ESTABELECIDAS NA LEGISLAÇÃO</b> .....	168
	<b>APÊNDICE D - COMPARAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS FÍSICOS DA LEGISLAÇÃO</b> .....	170
	<b>APÊNDICE E - COMPARAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS INORGÂNICOS DE POLUIÇÃO HÍDRICA ESTABELECIDAS NA LEGISLAÇÃO</b> .....	172
	<b>APÊNDICE F - COMPARAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS ORGÂNICOS DE POLUIÇÃO HÍDRICA ESTABELECIDAS NA LEGISLAÇÃO</b> .....	175
	<b>APÊNDICE G – FORMULÁRIO DE CONSENTIMENTO</b> .....	178
	<b>APÊNDICE H – FORMULÁRIO DE VISITA</b> .....	181
	<b>APÊNDICE I – GUIA PARA ENTREVISTAS</b> .....	183
	<b>APÊNDICE J – PROTOCOLO DE OBSERVAÇÃO</b> .....	185
	<b>APÊNDICE K – QUADRO DE FATOR DE IMPACTO</b> .....	187
	<b>APÊNDICE L – ROTEIRO DE ENTREVISTA EXPLORATÓRIA NAS EMPRESAS</b> .....	189
	<b>APÊNDICE M – ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA NA EMPRESA</b> .....	191

## 1 INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais se agravam de acordo com o setor de atuação da empresa, uma vez que algumas atividades podem causar maior impacto ambiental do que outras. A preocupação com os riscos ambientais fez com que alguns países desenvolvessem mecanismos na tentativa de minimizar os danos gerados pelos grandes acidentes ambientais (KEMP; ARUNDEL, 1998; GARCÍA-GRANERO; PIEDRA-MUÑOZ; GALDEANO-GÓMEZ, 2018). Os grandes desastres ambientais aconteceram em diversas regiões do mundo e nas indústrias dos setores mais poluentes. Na indústria petroquímica houve vazamento de petróleo com a explosão das plataformas Piper Alfa em 1988 no Mar do Norte (SINGH *et al.*, 2010) e da Deepwater Horizon no Golfo do México em 2010 (BEYER *et al.*, 2016). No setor químico houve vazamento de gases tóxicos na indústria de pesticidas em Bophal em 1984, levando a morte de milhares de pessoas e animais (BOWONDER, 1985). Nas usinas nucleares, o acidente na usina de Chernobyl na Rússia, em 1986, provocou explosões, incêndios e contaminação de extensa região (FESENKO *et al.*, 2013 ) e o acidente de Fukushima, em 2011, contaminou o solo e a região costeira no Japão (YASUNARI *et al.*, 2011). Esses acidentes ambientais foram considerados os mais graves acidentes ambientais do mundo dos respectivos setores.

No Brasil, houve acidentes ambientais significativos como explosão da plataforma P-36, em 2001, com o vazamento de petróleo bruto e óleo e contaminação do oceano (WHELAN, 2013); o rompimento da barragem de rejeitos químicos de uma fábrica de celulose, Indústria Cataguases Papel, em 2003, com a contaminação de rios de três estados chegando ao litoral (GARCIA, 2003) e o rompimento da barragem de resíduos de mineração da Samarco, em 2015, que levou a morte do Rio Doce, o maior da região sudeste do Brasil e destruição de um vilarejo (SEGURA *et al.*, 2016; DEMAJOROVIC; LOPES; SANTIAGO, 2019). Os acidentes ambientais ocorridos no Brasil e no mundo serviram para despertar na sociedade a necessidade de definir novas diretrizes para evitar a recorrência deste tipo de dano. Sendo assim, a busca por novas regulamentações e leis que garantam a proteção ao meio ambiente tem sido uma preocupação na grande maioria dos países (KIEFER; GONZÁLEZ; CARRILLO-HERMOSILLA, 2018).

O Princípio do Equador, promovido pela Corporação Financeira Internacional (*International Finance Corporation - IFC*), do Grupo Banco Mundial (GBM), estabelece um conjunto de princípios com foco socioambiental a serem seguidos pelas instituições financeiras signatárias quando forem financiar projetos empresariais e industriais. No

primeiro princípio há a definição de categorias de projetos. A categoria A contempla os projetos com potencial de risco alto e/ou impactos socioambientais adversos significativos e de caráter irreversível e pode ocorrer em qualquer um dos setores específicos tais como Agronegócios e Produção de Alimentos, Produtos Químicos, Indústria Florestal, Indústrias em Geral, Infraestrutura, Mineração, Petróleo e Gás e Geração Elétrica (EP, 2013). Impactos ambientais significativos são aqueles que geram dano ambiental expressivo e deve ser tratado pela empresa (SILVO *et al.*, 2005).

Em 1989, a Lei 7804/1989, incluiu na Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e/ou Utilizadoras dos Recursos Ambientais como um dos instrumentos da PNMA, administrada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) (BRASIL, 1989). Em 1997, o CONAMA publicou a Resolução 237/1997 que define como empreendimentos potencialmente poluidores as atividades de mineração, madeireiras, frigoríficos, obras civis, transporte e indústrias de metalurgia, celulose e papel, couro, têxtil, química e petroquímica (CONAMA, 1997). Com base no CONAMA 237/1997, a Lei 10.165/2000 alterou a Política Nacional de Meio Ambiente incluindo o Anexo VIII que determina a classificação das atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos naturais de acordo com o Potencial de Poluição (PP) e do Grau de Utilização dos Recursos Naturais (GU). Nesse anexo foi estabelecido que atividades no ramo de Extração e Tratamento de Minerais, Indústria Metalúrgica, Indústria de Papel e Celulose, Indústria de Couros e Peles, Indústria Química e Petroquímica e Transporte, Terminais, Depósitos e Comércio são classificadas como alto potencial poluidor (BRASIL, 2000).

A classificação das atividades potencialmente poluidoras depende do Potencial de Poluição (PP), do Grau de Utilização dos recursos naturais (GU) (CONAMA, 1997; BRASIL, 1981; BRASIL, 2000) e das melhores tecnologias ambientais aplicadas para proteção atmosférica e hídrica e consumo (SILVO *et al.*, 2005). A classificação do potencial poluidor reflete as ações organizacionais quanto ao risco de comprometimento do ambiente. Os indicadores relacionam o percentual da produção industrial por nível de potencial poluidor, podendo ser caracterizado em Baixo, Médio e Alto (MARTINS; OLIVEIRA, 2009). A metodologia definida pela Fundação de Economia e Estatística (FEE) é dividida em três etapas: classificação das atividades econômicas pelo seu potencial poluidor; análise dos números municipais de Saídas Contábeis Totais (SCT), que trazem a informação da produção dos setores de interesse; e cálculo de um índice agregativo (FEE, 2012). Estes percentuais foram calculados com base nas unidades geográficas que podem ser Municípios, Conselhos

Regionais de Desenvolvimento (COREDES), Aglomerados Urbanos, Regiões Hidrográficas e Estado (FEE, 2012a; MARTINS; OLIVEIRA, 2009). Inicialmente o potencial poluidor é qualificado de acordo com a atividade econômica de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A Fundação de Economia e Estatística (FEE) junto com a Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM) do Rio Grande do Sul (MARTINS *et al.*, 2005) utilizam como indicadores o Índice de Dependência das atividades Potencialmente poluidoras da indústria (Indapp-I), que contempla a dimensão econômica, e o Índice de Potencial Poluidor da Indústria (Inpp-I), que contempla a dimensão ambiental. Este último depende dos Indicadores de Potencial Poluidor (PP), do Índice de Dependência das Atividades Potencialmente Poluidoras (Indapp-I) e o Índice do Valor Adicionado Bruto da Indústria (IVAB-I) (MARTINS *et al.*, 2005).

O Sistema Integrado de Prevenção e Controle a Poluição (*Integrated Pollution Prevention and Control – IPPC*) é um instrumento que estabelece os critérios de estimativa do potencial poluidor considerando a poluição hídrica e atmosférica (EUROPEAN UNION, 2008). A classificação de atividades econômicas utilizada pelo IPPC (*Integrated Pollution Prevention and Control*), aplicado pelo Banco Mundial, é o “*International Standard Industrial Classification of All Economic Activities*” (ISIC). Para o desenvolvimento do estudo sobre potencial poluidor é necessário relacionar o sistema de classificação CNAE com o sistema de classificação ISIC. O cálculo do potencial poluidor neste modelo não separa as potencialidades de poluição agregando todos os valores em apenas um (FEE, 2012). Sendo assim, faz-se necessário a busca de novas metodologias para o cálculo do potencial poluidor. “A utilização da classificação de potencial poluidor de atividades não considera o porte do empreendimento, o grau de avanço tecnológico específico ou dos equipamentos adotados. Outro fator limitante é o fato desta informação não ser desagregada por tipo de poluição ou poluente” (FEE, 2012b; FEE, 2012a).

No Brasil, uma das formas de construção de indicadores de potencial poluidor foi a partir da Pesquisa Industrial Mensal de Produção Física (PIM-PF), do IBGE, que tem a principal fonte de dados o cálculo do PIB. Para classificar os produtos da PIM-PF, buscou-se inicialmente o entendimento da classificação de atividades poluidoras da Fundação Estadual de Engenharia e Meio Ambiente (FEEMA) utilizada no licenciamento industrial que associa a atividade industrial a um grau de potencial poluidor de ar e de água (MARTINS *et al.*, 2005; CARVALHO, 2005). A potencialidade poluidora é classificada de acordo com parâmetros de poluição hídrica e de poluição atmosférica. Para cada parâmetro são atribuídos pesos de acordo com seus efeitos nocivos ao meio ambiente, e valores, de acordo com as características

do ramo industrial, chegando à classificação qualitativa final de potencial poluidor hídrico e atmosférico (PERRITT, 1981; IBGE, 2016).

O setor de celulose é considerado um dos setores potencialmente poluente tanto nos acordos internacionais (BERGQUIST; KESKITALO, 2016) como na legislação brasileira. É um segmento industrial competitivo, tendo um aumento de crescimento de produção nos últimos anos (SOUZA, 2008; OBIDZINSKI; DERMAWAN, 2012) O setor de Celulose e Papel possui em torno de 220 empresas com atividades em 18 estados brasileiros, 2,2 milhões de hectares de florestas plantadas para fins industriais, exportações de US\$ 6,7 bilhões gerando um total de 128 mil empregos diretos e um saldo comercial de US\$ 4,7 bilhões. O Brasil é o quarto país em quantidade de produção, com 14,4 (unidade de milhões de toneladas) perdendo somente para EUA com 48,0, para a China com 17,9 e Canadá com 17,7 (IBA, 2016c). A evolução da produção brasileira de celulose tem aumentado muito nos últimos anos, uma vez que no ano de 2005 a produção foi de 10.352 passando para 17.370 toneladas em 2015 (IBA, 2016b). Uma vez que 66% da produção de celulose produzida no Brasil é destinada ao mercado internacional, também houve um aumento no crescimento das exportações (CNI, 2016; IBA, 2016a).

A produção de celulose é o principal gerador dos impactos ambientais do setor (GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013) a partir da geração de aspectos ambientais, tais como efluentes industriais (LI et al., 2016; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; CHEN et al., 2012; GÖNDER; ARAYICI; BARLAS, 2011; BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; SOLOMAN et al., 2009; POKHREL; VIRARAGHAVAN, 2004) e emissões atmosféricas (DESHMUKH et al., 2014; HARRIS et al., 2008; FAUBERT et al., 2016) bem como o consumo de recursos naturais. Esses aspectos podem levar a impactos ambientais significativos como consumo excessivo de água, degradação da biodiversidade, contaminação do ar, do lençol freático e do solo, bem como perda de nutrientes, danos à saúde decorrente de produtos químicos e poluição sonora. As vantagens da prevenção para as empresas envolvem diminuição dos riscos e acidentes ambientais, melhoria das condições de saúde e de segurança do trabalhador, melhoria da imagem da empresa, maior acesso as linhas de financiamento e melhoria no relacionamento com a comunidade e órgãos de controle ambiental (SOUZA, 2008; BERGQUIST; KESKITALO, 2016).

As Melhores Técnicas Disponíveis (*Best Available Technologies ou Best Available Techniques* - BAT) para o processo de fabricação de celulose incluem as melhores práticas para tratamento de águas residuárias, consumo de energia, consumo de água e emissões para a atmosfera incluindo a redução de gases odoríferos concentrados e diluídos do setor de

recuperação química do licor, redução das emissões do forno de cal, redução das emissões a partir de queimador para gases odoríferos (SUHR *et al.*, 2015). Essas técnicas estão relacionadas à utilização de tecnologias e difusão de inovação para mitigação dos impactos e melhoria do desempenho ambiental.

A necessidade de criar indicadores que possibilitem determinar o potencial poluidor das empresas tem permitido o desenvolvimento de formas de cálculo para o potencial de poluição (MARTINS; OLIVEIRA, 2009). No entanto, apesar das tecnologias ambientais de processo serem fundamentais para a mitigação de impactos ambientais (CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KÖNNÖLÄ, 2010; CHENG; YANG; SHEU, 2014; ARDITO *et al.*, 2018) elas não são consideradas na classificação potencial poluidor (FEE, 2012b; FEE, 2012a). Sendo assim, a lacuna teórica é que a tecnologia ambiental de processo reduz potencial de poluição e grau de utilização de recursos.

## 1.1 JUSTIFICATIVA E QUESTÃO DE PESQUISA

As empresas têm utilizado a inovação ambiental para amenizar os danos causados pelas suas atividades (TSENG *et al.*, 2013). A necessidade de redução de custos, as pressões normativas e de legislação, as questões de mercado e competitividade e as mudanças em produtos, processos e serviços têm impactado crescentemente na implantação da inovação ambiental (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; BERRONE *et al.*, 2013; TSENG *et al.*, 2013). As inovações, quando adequadamente implantadas, podem auxiliar na prevenção e controle da poluição, na redução dos riscos ambientais, na melhoria de produtos, processos e serviços, na redução de impactos ambientais e no aumento do desempenho ambiental (CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KÖNNÖLÄ, 2010; CHENG; YANG; SHEU, 2014; ARDITO *et al.*, 2018). No entanto, os determinantes de sua adoção dependem de diversas variáveis relacionadas ao Sistema de Gestão Ambiental, departamento de P&D, regulamentação, pressões do mercado e política ambiental (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; RENNINGS *et al.*, 2006; KEMP; PONTOGLIO, 2011; KIVIMAA, 2008).

As inovações tecnológicas podem ser classificadas em inovações de processo ou de produto (VDI, 2001; KEMP; ARUNDEL, 1998; RENNINGS *et al.*, 2006; FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2007; GARCÍA-GRANERO; PIEDRA-MUÑOZ; GALDEANO-GÓMEZ, 2018). Com relação à indústria de celulose e papel, as inovações aplicadas sob o ponto de vista ambiental têm sido relacionadas a processo (SUHR *et al.*, 2015) uma vez que

inovações de produto podem alterar a sua qualidade e aplicabilidade (SUHR *et al.*, 2015; POPP; HAFNER; JOHNSTONE, 2011).

A relação entre o tema de inovação e redução de impactos ambientais se mostra relevante uma vez que as tecnologias ambientais têm sido utilizadas nas empresas de diversos segmentos para mitigar impactos ambientais significativos. Desta forma, este estudo busca responder a seguinte questão de pesquisa: “como as inovações ambientais tecnológicas de processo contribuem para mitigar impactos ambientais de alta significância nas indústrias do setor de celulose?”

As tecnologias utilizadas pelo setor possibilitam a redução nos impactos ambientais relacionados à energia, emissões, efluentes e consumo de água. Estas tecnologias aplicadas em cada etapa do processo levam a redução dos indicadores de PP (Potencial de Poluição) e GU (Grau de Utilização de recursos naturais). O entendimento de como a inovação ambiental impacta no potencial de poluição das empresas e conseqüentemente na classificação do setor justificam os esforços deste trabalho.

## 1.2 OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS

O objetivo deste trabalho é analisar como a inovação ambiental tecnológica de processo contribui para mitigar impactos ambientais de alta significância das indústrias do setor de celulose. Os objetivos secundários relacionados a este trabalho são:

- a) identificar os impactos ambientais de alta significância das indústrias do setor de celulose;
- b) identificar inovação ambiental tecnológica de processo para mitigar impactos ambientais das indústrias do setor de celulose;
- c) verificar a aplicabilidade das Melhores Práticas (BAT) das indústrias do setor de celulose;
- d) mapear os parâmetros mais restritivos da legislação federal, estadual e municipal para comparar com os resultados das empresas estudadas.
- e) analisar os principais determinantes para as escolhas de inovação ambiental tecnológica de processo para mitigar impactos ambientais de alta significância das indústrias do setor de celulose; e
- f) desenvolver um modelo analítico sobre as inovações tecnológicas e a redução dos impactos ambientais.

Essa pesquisa parte do pressuposto que as indústrias dos setores potencialmente poluentes, como o de papel e celulose, com graves acidentes ao longo das últimas décadas (SINGH et al., 2010; YASUNARI et al., 2011; WHELAN, 2013; GARCIA, 2003; BEYER et al., 2016; SEGURA et al., 2016) têm introduzido diversas tecnologias ambientais no processo produtivo para mitigar grandes acidentes e reduzir os riscos (DOONAN; LANOIE; LAPLANTE, 2005; POPP; HAFNER; JOHNSTONE, 2011; KIVIMAA; KAUTTO, 2010; SILVO; JOUTTIJÄRVI; MELANEN, 2009; GONZÁLEZ, 2005). Essas tecnologias, se aplicadas na totalidade do processo produtivo das indústrias, podem levar a uma redução significativa de impactos ambientais, diminuindo o seu potencial poluidor e consumo de recursos naturais, alterando a sua classificação nos setores potencialmente poluentes (SUHR et al., 2015; BRASIL, 2000).

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está dividido em seis capítulos: a introdução, o referencial teórico, o método de pesquisa, os resultados da pesquisa, a análise e discussão dos resultados e as conclusões e recomendações para futuros estudos.

Neste primeiro capítulo são apresentadas: a contextualização, a justificativa, a questão de pesquisa e o objetivo geral e os objetivos específicos.

O Capítulo 2 discorre sobre o referencial teórico utilizado como base para a pesquisa e envolve como tópicos principais: inovação ambiental, de forma mais específica à inovação ambiental na indústria de celulose que aborda os aspectos ambientais da indústria e a classificação dos setores poluentes.

O Capítulo 3 apresenta o método utilizado na pesquisa detalhando a abordagem metodológica, a escolha da amostra teórica, os instrumentos de coleta de dados e a análise e o tratamento dos dados.

Os resultados da pesquisa apresentados no Capítulo 4 envolvem o levantamento dos dados das unidades visitadas de acordo com os impactos ambientais específicos da unidade e apresentação conjunta dos dados relacionados a efluentes, a emissões e o consumo de recursos naturais focando na energia e no consumo de água.

O Capítulo 5 discorre sobre os resultados de forma agrupada, apresentando as principais considerações sobre efluentes, emissões e consumo de recursos naturais.

No Capítulo 6 são apresentadas as principais conclusões e as recomendações para os estudos futuros e as limitações da pesquisa.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Este capítulo versa sobre os tipos de inovação ambiental, incluindo seus *drivers* e indicadores. De forma específica aborda inovação ambiental utilizada para mitigar impactos ambientais no setor de celulose tratando dos principais aspectos e das tecnologias ambientais.

### 2.1 INOVAÇÃO AMBIENTAL

A inovação ambiental consiste em processos novos ou modificados, técnicas, sistemas e produtos que evitam ou reduzem danos ambientais (KEMP; ARUNDEL, 1998). Geralmente é o mesmo que outros tipos de inovação, mas com duas diferenças. A primeira diferença é que é uma inovação que resulta em uma redução do impacto ambiental e a segunda diferença é que as consequências da inovação ambiental não se limitam a inovação em produtos, processos, métodos de marketing e métodos organizacionais podendo ir além das fronteiras convencionais da organização inovadora, envolvendo modalidades sociais mais amplas que provocam mudanças nas normas socioculturais existentes e das estruturas institucionais (OECD, 2009; KESIDOU; DEMIREL, 2012).

As atividades de inovação envolvem etapas científicas, tecnológicas, organizacionais, financeiras e comerciais que permitem implementar a inovação e isso inclui a aquisição de conhecimento externo ou bens de capital além das ações na área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (OECD, 1997), pois apesar da área de P&D ser fundamental para a escolha e implantação de inovação ambiental, outros elementos devem ser considerados na tomada de decisão (RENNINGS *et al.*, 2006; JOVÉ-LLOPIS; SEGARRA-BLASCO, 2018). A inovação ambiental tem setornado um importante meio de renovar os conceitos de inovação sendo foco principal o melhoramento do desempenho ambiental. De forma geral, a inovação ambiental tem como objetivo reduzir os impactos ambientais causados pelo consumo, atividades de produção e a motivação para o seu desenvolvimento organizacional (CARRILLO; GONZÁLEZ; KÖNNÖLÄ, 2009).

A inovação também é utilizada para prevenção e controle da poluição e, em algumas empresas tem sido vista como uma redução nos custos e emissões gerados nos processos produtivos atendendo assim as regulamentações ambientais (KEMP; PONTOGLIO, 2011; LIAO; TSAI, 2018; KIEFER; GONZÁLEZ; CARRILLO-HERMOSILLA, 2018). Para atender às exigências dos acordos nacionais e internacionais ambientais, não é suficiente realizar apenas adaptações das tecnologias existentes e sim buscar alternativas que envolvem

mudanças de processos produtivos por meio da implementação de políticas voltadas às inovações para um melhor desempenho econômico e ambiental (RENNINGS *et al.*, 2006; JOVÉ-LLOPIS; SEGARRA-BLASCO, 2018).

Inovação ambiental é, então, o processo de desenvolvimento de novos produtos, ou significativamente melhorados, processos ou serviços que podem fornecer valor ao cliente e aos negócios e que leva a uma redução dos danos ambientais, controle da poluição (KEMP; PEARSON, 2008; MARTÍNEZ-ROS; KUNAPATARAWONG, 2019), utilização de produtos “verdes” e técnicas de manejo sustentável, redução de resíduos (KEMP; PONTOGLIO, 2011) como alternativas limpas (KEMP; PEARSON, 2008; KEMP; PONTOGLIO, 2011; MARTÍNEZ-ROS; KUNAPATARAWONG, 2019), diminuindo significativamente o impacto ambiental (KEMP; ARUNDEL, 1998; KEMP; PONTOGLIO, 2011), criando novos espaços de mercado, produtos e serviços ou processos orientados para as questões ambientais (CHARTER; CLARK, 2007; OLTRA; SAINT JEAN, 2009) de forma integrada com a participação da área de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (CHARTER; CLARK, 2007). Sendo assim, a inovação ambiental serve para prevenir ou reduzir, diagnosticar e monitorar os danos antrópicos, gerados pelas ações do homem (MARKUSSON, 2001; LIAO; TSAI, 2018; KIEFER; GONZÁLEZ; CARRILLO-HERMOSILLA, 2018) levando a necessidade de utilização dos recursos naturais, tais como energia e água, de forma mais eficiente (KEMP; PONTOGLIO, 2011) reduzindo os danos ambientais (RENNINGS, 2000; AHUJA *et al.*, 2019). O desenvolvimento de Inovação Ambiental visa o ganho de competitividade econômica com a segurança ambiental preservada. De acordo com a visão europeia, a economia deve buscar um aumento de riqueza utilizando menos recursos naturais e causando menor impacto ambiental. Nesta busca, as fronteiras entre as políticas clássicas devem ser transgredidas e as políticas industriais, ambientais, tecnológicas e científicas devem convergir (COENEN; LÓPEZ, 2010).

As alterações no sistema podem ser incrementais ou radicais e tem como intuito garantir a sustentabilidade econômica do sistema e a sustentabilidade social e ambiental. Quando o foco é minimizar os impactos negativos gerados no processo produtivo, é mais usual a adição de componentes *end-of-pipe* para controle das emissões, resíduos e quaisquer saídas que possam gerar impactos. Na tentativa de aumentar o impacto positivo no meio ambiente, a alteração deve ser cada vez mais estruturada e complexa atuando em subsistemas e conseqüentemente aumentando a eco eficiência. A inovação ambiental deve trazer como retorno para a organização inovadora a geração de valor, redução de custos, aumento da receita ou atração de novos clientes e, sob o ponto de vista mais específico, a redução de

impactos ambientais. Realizar pequenas alterações no sistema, produto ou serviços torna-se difícil em virtude da estrutura das organizações, mas a inovação no âmbito da governança tem como foco propor soluções institucionais tais como alterações na política, normas e estrutura empresarial para minimizar as questões que envolvem os recursos ambientais. Uma vez que as dimensões-chave da inovação ambiental foram identificadas torna-se possível avaliar as inovações ambientais de forma mais específica. Isso pode levar a otimização de processos existentes, a melhorias de eficiência e redução de custos, reduzindo simultaneamente os impactos nocivos sobre o ambiente (CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KÖNNÖLÄ, 2010).

As principais categorias de inovação ambiental são os requisitos para a inovação, que depende da aquisição de conhecimento e financiamento; a redução de impactos ambientais por meio da redução de danos ambientais e resíduos, do controle da poluição, da utilização dos produtos verdes e da inserção de técnicas de manejo sustentável; e as dimensões da inovação ambiental que envolve *design*, os usuários, os produtos e serviços e, por fim, a governança (OECD, 1997; KEMP; PEARSON, 2008; CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KÖNNÖLÄ, 2010; KEMP; PONTOGLIO, 2011).

### **2.1.1 Determinantes da inovação**

Há uma variedade de políticas que provêm incentivos para apoiar a inovação ambiental nas organizações (RENNINGS *et al.*, 2006; KEMP; PONTOGLIO, 2011), de forma positiva ou negativa (KEMP; PONTOGLIO, 2011), incluindo a regulamentação, o mercado e os instrumentos voluntários (FRONDEL; HORBACH; RENNING, 2008; LIAO; TSAI, 2018; KIEFER; GONZÁLEZ; CARRILLO-HERMOSILLA, 2018; BERGQUIST; KESKITALO, 2016)

O estudo de Ashford, Ayers e Stone (1985) foi o primeiro estudo importante sobre a política ambiental e inovação em que foram reunidas evidências empíricas de cerca de dez casos regulamentares no EUA. Os resultados do estudo apontam que a regulamentação foi considerada um grande impulsionador para a inovação ambiental sendo avaliada de acordo com o grau de rigor, o tipo (processo ou produto) e o grau de transformação (difusão, incremental e radical) e tendo como foco o cumprimento dos requisitos regulamentares existentes e a antecipação de normas futuras (ASHFORD; AYERS; STONE, 1985).

Além das influências externas geradas pela regulamentação nacional e internacional e da pressão realizada pelo mercado para o consumo de produtos ou serviços ambientalmente

responsáveis, os instrumentos de controle e medição organizacionais podem ser voluntários (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; LIAO; TSAI, 2018; KIEFER; GONZÁLEZ; CARRILLO-HERMOSILLA, 2018; BERGQUIST; KESKITALO, 2016). O Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é um exemplo de instrumentos não mandatórios de incentivos para implantação da inovação ambiental tecnológica que melhora o desempenho ambiental, reforçando as atividades de inovação das empresas tornando-se um suplemento para as políticas mandatórias relacionadas ao meio ambiente baseado na regulamentação e na legislação (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; LIAO; TSAI, 2018; KIEFER; GONZÁLEZ; CARRILLO-HERMOSILLA, 2018; BERGQUIST; KESKITALO, 2016) e tem como alternativas mais usuais o Sistema de Gestão Ambiental ISO14001 (RENNINGS *et al.*, 2006; FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008) e o Sistema de Gestão Ambiental e de Auditoria da União Europeia (*Environmental Management and Auditing Scheme – EMAS*) (RENNINGS *et al.*, 2006).

A capacidade de inovar ambientalmente aumenta à medida que as políticas ambientais são melhoradas (KIVIMAA, 2008; KEMP; PONTOGLIO, 2011). Os efeitos das políticas ambientais na inovação dependem dos objetivos e características da política organizacional bem como de sua relação e conflito com outras políticas, as consequências do tempo gasto na implantação e a natureza do processo de inovação (KIVIMAA, 2008). Sendo assim, o impacto dos instrumentos de política ambiental sobre as inovações dependem mais de aspectos como o rigor, a previsibilidade, o setor ou o tamanho da planta, *timing*, compromissos políticos para as futuras normas, o cumprimento de normas, inspeções e multas em caso de descumprimento e a combinação com outros instrumentos (KEMP; PONTOGLIO, 2011; KIVIMAA, 2008). Muitas organizações utilizam, na maioria das vezes, apenas um instrumento para definir e controlar o cenário do problema ambiental (RENNINGS *et al.*, 2006). No entanto, como não há um único instrumento mais adequado para estimular uma resposta inovadora (KEMP; PONTOGLIO, 2011) este posicionamento limita as possibilidades de encontrar alternativas mais efetivas para minimizar os danos gerados pelo processo de produção. Para uma visão mais completa da situação ambiental faz-se necessário utilizar vários instrumentos inter-relacionados para propor a adoção dos diversos tipos de inovação ambiental tecnológica (RENNINGS *et al.*, 2006; JOVÉ-LLOPIS; SEGARRA-BLASCO, 2018).

O estudo realizado por Rennings *et al* (2006) aborda os efeitos das políticas ambientais na inovação tecnológica ambiental e na performance econômica. O estudo envolveu doze casos de diversos setores cujos instrumentos foram pesquisa *survey*, a análise

dos relatórios ambientais e as entrevistas semiestruturadas. As principais variáveis identificadas na *survey* foram a inovação ambiental tecnológica, a maturidade do sistema de gestão ambiental, a importância estratégica do EMAS (*Environmental Management and Auditing Scheme*) e a performance econômica. Foram analisados fatores internos e externos utilizando tanto inovação ambiental de produto quanto a inovação ambiental de processos como variáveis dependentes (RENNINGS *et al.*, 2006). A relação entre as variáveis e a inovação ambiental tecnológica de processos é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 - Relação entre as variáveis para inovação ambiental tecnológica

Variável Explicativa	Relação	Nível de Significância	Variável dependente
Revalidações e importância estratégica do EMAS	Positiva	5% (++)	Inovação Ambiental de Processos
Experiência anterior relacionada à proteção ambiental			
Forte participação da gestão geral, P&D e área de distribuição.			
Melhoria Ambiental			
Conformidade com a regulamentação			
Número de empregados e tamanho das instalações			

Fonte: Autora. Adaptado de Rennings *et al.*, 2006, p. 54.

Após a análise foi possível entender os efeitos positivos e negativos das variáveis explicativas nas variáveis dependentes estudadas. De acordo com o estudo apresentado, a inovação ambiental de processos é fortemente influenciada pela maturidade do sistema de gestão ambiental, e em especial o EMAS, pela experiência com as questões ambientais, pela conformidade com a regulamentação pela participação da gestão e da área de distribuição, pela atuação do departamento de P&D, pelas ações de melhoria ambiental e pelo tamanho das instalações (RENNINGS *et al.*, 2006).

O estudo de Kemp e Pontoglio (2011) mostra a dificuldade em analisar estatisticamente os efeitos das políticas ambientais na inovação e refere à dificuldade em medir a política ambiental, a dificuldade em medir a inovação e a dificuldade em identificar todos os fatores relevantes para análise. Com relação à política ambiental, alguns aspectos de seus instrumentos tais como rigor, aplicação, normas, impostos específicos ao tipo de poluidor e nem sempre os indicadores utilizados satisfazem as necessidades de análise. Com relação à inovação, poucos estudos conseguem mensurar a inovação de saída sendo que a maioria utiliza como indicadores as medidas de inovação de entrada e a utilização de patentes. Muitos estudos usam patentes como medição para a inovação, principalmente em estudos estatísticos. Outros indicadores a serem utilizados para mensurar inovação são indicadores de desempenho econômico, produtividade, investimentos, custos operacionais e redução de

custos, que apesar de ajudar na análise possuem limitações por não serem específicos. Por fim, a terceira limitação do estudo utilizando dados estatísticos refere-se à incapacidade de incluir todos os fatores relevantes na análise tais como expectativa de negócios, matriz institucional e capacidade de inovação. Uma vez que a análise de dados estatísticos pode tornar-se incompleta em virtude das dificuldades apresentadas acima, torna-se importante estabelecer estudos qualitativos que permitam contemplar demais análises que não podem ser traduzidas numericamente (KEMP; PONTOGLIO, 2011).

Outro estudo quantitativo em uma indústria alemã foi realizado tendo como hipótese que as decisões sobre as atividades de inovação ambiental poderiam estar relacionadas com a decisão de adotar um Sistema de Gestão Ambiental (SGA). Os objetivos foram identificar os incentivos relevantes para a adoção voluntária de um SGA e os motivos que desencadeariam o comportamento de inovação ambiental na empresa estudada. As principais variáveis dependentes do estudo foram redução tecnológica e SGA. A redução tecnológica é um indicador de reduções ou mudanças significativas nas tecnologias de produção e SGA indica a existência de um sistema de gestão ambiental cuja implementação foi completa ou está em progresso. A partir das respostas válidas, foram identificadas como categorias de análise para a implantação de inovação ambiental: grupos de pressão, motivações para práticas ambientais, ferramentas de controle ambiental e características das unidades (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008)

As principais variáveis do estudo podem ser identificadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Determinantes de adoção do Sistema de Gestão Ambiental

<b>Categorias de Análise</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Exemplos</b>
Grupos de pressão	Forças Internas	Sedes corporativas Funcionários Acionistas
	Autoridades	Sindicatos e associações industriais
	Clientes	Clientes comerciais e privados
	Uniões	Associações industriais União laborais
	Organizações Verdes	Organizações ambientais Comunidade
Motivações para prática ambiental	Imagem	Imagem corporativa
	Incidentes	Prevenção e controle de acidentes ambientais
	Conformidade	Conformidade com legislação nacional e Conformidade com acordos internacionais
	Rigor	Rigor no controle ambiental
	Custos	Economia de custos
Política Ambiental	Taxas	Multas ambientais
	Medidas voluntárias	Acordos voluntários e negociados
	Subsídios	Preferências fiscais para o desenvolvimento de atividades

<b>Categorias de Análise</b>	<b>Variáveis</b>	<b>Exemplos</b>
Política Ambiental	Medidas regulamentares	Proibições de entradas de produtos ambientalmente incorretos
	Instrumentos de Mercado	Licenças negociáveis Responsabilidade pelos perigos ambientais
	Padrões	Padrões de performance e tecnológicos Medidas e controle de informações
Características das instalações	Departamento	Existência de um departamento ambiental ou relacionado
	Responsabilidade	Existência de um funcionário responsável pelas questões ambientais
	Impactos	Relevância dos impactos ambientais
	Tamanho	Quantidade de funcionários
	P&D	Existência de orçamento para departamento de P&D

Fonte: Autora. Adaptado de Frondel; Horbach; Rennings, 2008, p. 155

Os resultados da pesquisa de Frondel, Horbach e Rennings (2008) indicam que nem a aplicação do SGA, nem qualquer outro instrumento de política único, de forma isolada, parece ser catalisador para atividades de inovação ambiental (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008), sendo necessária à utilização de outros elementos organizacionais ou externos para uma melhor determinação e implantação da inovação ambiental. Os resultados da pesquisa apontam também que um dos determinantes do processo de inovação ambiental seja a presença significativa de departamentos específicos, tais como P&D para atender ao rigor do controle ambiental (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; RENNINGS et al., 2006).

Alguns autores já determinaram a importância que o departamento de P&D tem na implantação da inovação ambiental (OECD, 1997; KEMP; ARUNDEL, 1998; KEMP; FOXON, 2007 CHARTER; CLARK, 2007; GARCÍA-GRANERO; PIEDRA-MUÑOZ; GALDEANO-GÓMEZ, 2018). No entanto, quando o departamento de P&D tem como objetivo direcionar seus esforços para a inovação ambiental ou aumentar o desempenho ambiental, ele pode ser chamado também de P&D verde ou *green P&D* (LEE; MIN, 2015; NOAILLY; RYFISCH, 2015). Estudos anteriores têm como foco, na maioria das vezes, investimento em inovação apenas para a preservação do meio ambiente, sem que isso traga ganhos efetivos para os negócios. No entanto, a busca pela inovação já tem assumido a perspectiva de trazer também retorno financeiro para a organização implantando estratégias ambientais que não somente aumente o desempenho ambiental, como também o econômico. Para que isso ocorra, inicialmente é fundamental que as empresas acumulem recursos e gerenciem suas capacidades para ter lucro com o meio ambiente em longo prazo, identificando tecnologias e estratégias que permitam alcançar a vantagem competitiva. A inovação ambiental pode ser interna, que inclui práticas de negócios que a apoie; e externa, que envolve dentre outros fornecedores e agências governamentais (LEE; MIN, 2015). O

investimento em P&D para implantar tecnologias para a redução da poluição e as emissões de carbono (LEE; MIN, 2015) tem como base o redesenho de processos e melhoria da produção (LEE; MIN, 2015; PAJUNEN et al., 2012) e é impactado positivamente pelo o sistema de gestão ambiental (LEE; MIN, 2015; VDI, 2001; RENNINGS et al., 2006; FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008), diminuindo as emissões de carbono (LEE; MIN, 2015), aumentando o desempenho ambiental (LEE; MIN, 2015; CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KÖNNÖLÄ, 2010; ARDITO et al., 2018) e aumentando o valor da empresa (LEE; MIN, 2015). O planejamento e envolvimento da área de P&D dependem de estratégias considerando a resposta organizacional às pressões ambientais de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3 - Estratégia empresarial e posicionamento da empresa

<b>Estágio</b>	<b>Posicionamento da empresa</b>	<b>Estratégia</b>
Estágio 1	A empresa possui atitude resistente às pressões ambientais	Indiferente
Estágio 2	A empresa possui uma abordagem reativa às ameaças ambientais percebidas	Defensiva
Estágio 3	A empresa começa a ver o ambiente como uma oportunidade e não uma ameaça.	Ofensiva
Estágio 4	A empresa foca a área de P&D	
Estágio 5	A empresa busca novos rumos tecnológicos	Inovadora
Estágio 6	A empresa busca formas de oferecer novos produtos e / ou tecnologias limpas alternativas desenvolvendo um novo segmento de produtos	

Fonte: Adaptado de KEMP; ARUNDEL, 1998, p.11-12

A área de planejamento deve considerar alguns estágios para a implantação da inovação ambiental, mas isso depende do posicionamento da empresa com relação às questões ambientais. No Estágio 1, a empresa tende a ser mais resistente às pressões ambientais levando a área de P&D a não tomar nenhuma atitude mais significativa, usando uma estratégia mais indiferente. Se a empresa está no Estágio 2 e possui uma abordagem reativa às ameaças ambientais percebidas, o departamento de P&D deve utilizar uma estratégia mais defensiva e concentrar-se em realizar pequenas alterações em seus produtos ou processos. A empresa que se posiciona no Estágio 3 tende a ver o meio ambiente como uma oportunidade em vez de uma ameaça permitindo uma estratégia mais ofensiva da área de P&D que se concentra no desenvolvimento de novos produtos, mas sem grande mudança tecnológica. Se a empresa está no Estágio 4, focar na área de P&D e permite que a empresa invista em novos tipos de processos ou produtos que irão dar alguma vantagem competitiva em médio prazo. Quando a empresa está no Estágio 5, ela busca novos rumos tecnológicos, permitindo que o departamento de P&D utilize uma estratégia mais inovadora, por exemplo, desenvolvendo alternativas mais radicais que podem ser até mesmo ser vendidas em novos mercados. Por fim, no Estágio 6, a empresa busca formas de oferecer novos produtos e/ou tecnologias limpas

alternativas desenvolvendo um novo segmento de produtos por meio do departamento de P&D. Quando a área de P&D apoia no desenvolvimento de produtos voltados às questões ambientais, tem-se a caracterização de P&D Verde (KEMP, Rene; ARUNDEL, 1998).

A síntese das principais categorias identificadas na revisão de literatura sobre *drivers* ou determinantes de inovação é apresentada no Quadro 4.

Quadro 4 - Quadro síntese sobre determinantes da inovação ambiental

<b>Categorias</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Elementos</b>	<b>Autores</b>
Grupos de pressão	Forças internas	Acionistas Funcionários Sedes corporativas	FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008
	Parcerias	Fornecedores Instituições financeiras	FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008
	Autoridades	Sindicatos Associações industriais Órgãos regulamentadores	FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008
			LEE; MIN, 2015
	Clientes	Clientes comerciais e privados	FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008
	Uniões	Associações industriais União laborais	FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008
	Organizações verdes	Comunidade Mercado Organizações ambientalistas	FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008
NOAILLY; RYFISCH, 2015			
FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008			
Questões corporativas	Imagem	Imagem corporativa	FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008 KEMP; PONTOGLIO, 2011
	Incidentes	Prevenção e controle de acidentes ambientais	
	Tamanho	Quantidade de funcionários	
	Rigor Interno	Rigor no controle ambiental	
	Impactos ambientais	Relevância dos impactos ambientais	
Políticas ambientais	Medidas voluntárias	SGA Acordos Voluntários Acordos Negociados	FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; RENNINGS et al., 2006; AHUJA et al., 2019; KEMP; PONTOGLIO, 2011
	Regulamentação	Licenças Multas Incentivos fiscais Custos Impostos Medidas regulamentares	ASHFORD; AYERS; STONE, 1985; FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; RENNINGS et al., 2006; NOAILLY; RYFISCH, 2015; AHUJA et al., 2019 BERGQUIST; KESKITALO, 2016
P&D	Ferramentas	Redesenho de processo Melhoria da produção	LEE; MIN, 2015
	P&D Verde	Patentes	NOAILLY; RYFISCH, 2015; OECD, 1997; KEMP; ARUNDEL, 1998; CHARTER; CLARK, 2007; KEMP; FOXON, 2007

Fonte: Autora

Com o aumento da importância do P&D verde, muitas empresas estão ampliando seus investimentos em departamentos no exterior, levando a globalização do P&D verde. Aproximadamente 17% das patentes verdes são resultantes de investimentos em P&D verde de empresas multinacionais fora de seus países de origem. O que influencia esta situação é a

necessidade das empresas adaptarem seus produtos aos mercados específicos permitindo também que a empresa tenha acesso a novas fontes de conhecimento e tecnologias utilizadas no ambiente de operação. De acordo com pesquisas, a probabilidade de investir em P&D verde no exterior depende da severidade da regulação ambiental, das políticas públicas locais, dos custos de mão de obra, do tamanho do mercado e da valorização da área de P&D local. Sendo assim, empresas multinacionais que mantêm um departamento de P&D verde no exterior, garantem não somente a funcionalidade de sua planta, mas também ampliam o conhecimento nas tecnologias ambientais globais (NOAILLY; RYFISCH, 2015).

### **2.1.2 Indicadores da Inovação Ambiental**

Uma das formas de mensurar a inovação é através de indicadores. Estudos anteriores evidenciam duas questões importantes para a classificação de indicadores: a importância dos objetivos de inovação da empresa para a redução de recursos naturais e os efeitos da regulação como barreira para a inovação (KEMP, Rene; ARUNDEL, 1998). O estudo relata quatro pesquisas realizadas evidenciando indicadores de inovação. A pesquisa CIS I (*Community Innovation Survey*), realizada em 1993, destaca três questões importantes: importância da empresa no desenvolvimento e introdução de inovações para reduzir os custos de produção por redução no consumo de materiais e redução no consumo de energia; importância para a empresa de desenvolvimento e introdução de inovações para reduzir danos ambientais e a importância da legislação, normas, regulamentos, normas e da tributação para o sucesso inovador. A pesquisa realizada no Canadá, também em 1993, ressalta como tópicos importantes: as normas ou regulamentos como um fator de especial importância como um impedimento à inovação do governo; a importância da utilização dos materiais existentes de forma mais eficiente e redução dos custos energéticos como fatores importantes na estratégia de desenvolvimento da empresa e, por fim, os efeitos da inovação gerada pela exigência da redução de energia e da redução de capital. A pesquisa de MERIT-PACE (1993) evidencia a importância das regulações ambientais como um obstáculo para a capacidade da empresa para lucrar com a inovação. A última pesquisa realizada em 1997, a CIS – 2, define a importância dos objetivos inovadores da empresa na redução dos danos ambientais e do consumo de materiais e energia (KEMP, Rene; ARUNDEL, 1998).

Os indicadores de inovação ambiental podem ser classificados de acordo com algumas categorias: políticas governamentais, as estruturas organizacionais internas, estratégias e

motivações ambientais, compensação, fontes de informação, colaboração e as condições de adequação. A regulação governamental e as parcerias podem ter um efeito nas políticas de inovação da empresa tendo como indicadores os subsídios em P&D, subsídios de adoção de tecnologia, esquemas de assistência técnica ou políticas de compras. As estruturas organizacionais internas incluem declarações de missão e metas de longo prazo para reduções de emissões, uso de energia e melhorias de produtos, Análises de Ciclo de Vida (ACV), auditorias ambientais e princípios, colaboração com fornecedores e utilizadores em relação a questões ambientais, contatos com autoridades, e a inclusão de ambientalistas e cidadãos no desenvolvimento de uma política firme. Os indicadores de estratégias e motivações ambientais incluem indicadores dos aspectos organizacionais e estratégicos de P&D e gestão ambiental, de gestão, metas de inovação, o cumprimento da regulamentação em vigor, as possíveis regulamentações futuras, responsabilidade social. Indicadores de compensações envolvem os custos da inovação ambiental para determinar a utilidade das compensações como incentivo à inovação ambiental. Indicadores de fontes de informação tem como foco o desenvolvimento de políticas públicas eficazes para estimular a inovação e requer informações sobre os tipos de fontes de informação que são mais úteis para finalidades. Indicadores de colaboração envolvem o gerenciamento de cadeia e a administração de produtos na cadeia produtiva. E por fim, os indicadores de adequação incluem critérios de desenvolvimento e a frequência com que os desenvolvedores de usuários mantêm a inovação em segredo ou para outras empresas (KEMP; ARUNDEL, 1998; GARCÍA-GRANERO; PIEDRA-MUÑOZ; GALDEANO-GÓMEZ, 2018).

### **2.1.3 Tipos de Inovação Ambiental**

As inovações ambientais podem ser classificadas, de acordo com a sua motivação, em inovações ambientalmente motivadas e as inovações ambientalmente disseminadas. O primeiro tipo se refere às inovações que são influenciadas pelo contexto em que a empresa está alocada e pelas atividades específicas do processo produtivo (KEMP; FOXON, 2007; KEMP; ARUNDEL, 1998).

A depender da forma de implantação da inovação ambiental, ela pode ser classificada em incremental e radical. As mudanças incrementais envolvem graduais e contínuas modificações que preservam sistemas de produção e mantêm as redes existentes, agregando valor no sistema em que as inovações estão enraizadas (CARRILLO-HERMOSILLA; DEL

RÍO; KÖNNÖLÄ, 2010). As melhorias podem envolver redução de custos e melhoria de produtos, no entanto leva a ganhos ambientais limitados. Por outro lado, as inovações em larga escala, envolvendo a substituição de todo um processo de produção ou o desenvolvimento de um novo produto possibilitam melhorias marcantes na sustentabilidade ambiental (KEMP, Rene; ARUNDEL, 1998). As mudanças radicais muitas vezes desconsideram os processos e tecnologias utilizados trazendo novas alternativas para o atendimento das necessidades organizacionais. São mudanças descontínuas que buscam a substituição de componentes ou até mesmo de sistemas inteiros, criando novas redes e acrescentando novos valores (CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KÖNNÖLÄ, 2010; ARDITO *et al.*, 2018). A inovação radical é mais estimulada pela regulamentação do que pelos instrumentos de mercado (ASHFORD; AYERS; STONE, 1985). Pode-se ainda classificar a inovação como semi radical (DAVILA; EPSTEIN; SHELTON, 2009). A matriz de inovação é apresentada no Quadro 5.

Quadro 5 - Matriz de inovação

<b>Tecnologia/ Modelo de negócio</b>	<b>Semelhante a existente</b>	<b>Nova</b>
Semelhante a existente	Incremental	Semi-radical
Nova	Semi-radical	Radical

Fonte: Davila; Epstein; Shelton, 2009, p.34

A implantação da tecnologia pode estar relacionada também com o modelo de negócio. Sendo assim, quando uma tecnologia semelhante à existente for aplicada a um modelo de negócios também semelhante, a inovação é classificada como incremental. Se a tecnologia e o modelo de negócios forem novos, a inovação pode ser classificada como radical. No entanto, se a tecnologia nova for aplicada em um modelo de negócios semelhante ao existente ou a tecnologia semelhante a existente for aplicada em um modelo de negócios novo, a inovação será classificada como semi-radical (DAVILA; EPSTEIN; SHELTON, 2009).

A inovação ambiental possui características diferenciadas a depender da sua aplicação, podendo ser classificada em inovação ambiental organizacional, inovação ambiental de produto e inovação ambiental de processo (VDI, 2001). Os tipos de inovação ambiental são apresentados na Figura 1.

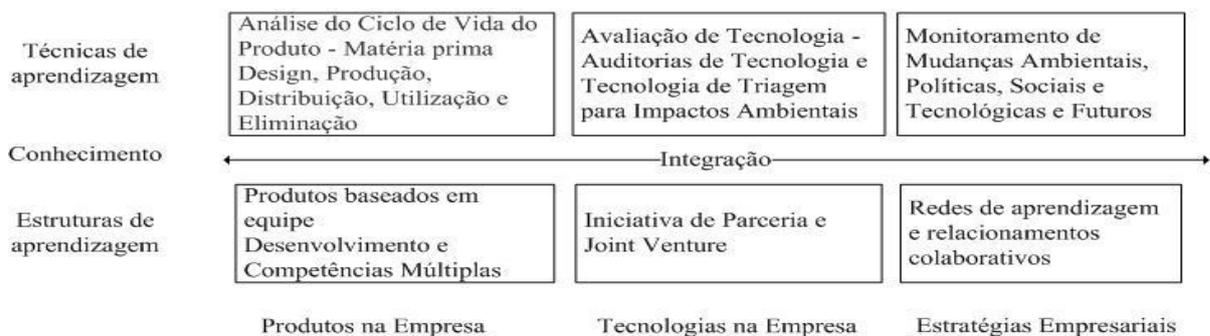
Figura 1 - Tipos de inovação ambiental



Fonte: Autora. Adaptado de VDI, 2001

A inovação ambiental organizacional inclui a reorganização da estrutura e responsabilidades com o objetivo de reduzir impactos ambientais (VDI, 2001). Relações entre inovação organizacional e inovação tecnológica são fundamentais para o desenvolvimento e aplicação dos diversos tipos de tecnologias (KEMP, Rene; ARUNDEL, 1998). Um exemplo deste tipo de inovação seria a implantação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) (VDI, 2001) uma vez que a implantação do SGA impacta em mudanças na estrutura, na política e nas questões estratégicas da empresa permitindo que em seu manual sejam descritos também as formas de decisão, implantação e medição da inovação ambiental (RENNINGS *et al.*, 2006; AHUJA *et al.*, 2019; JOVÉ-LLOPIS; SEGARRA-BLASCO, 2018). Alguns tipos de inovação organizacional são relevantes para os objetivos ambientais tendo como exemplo programas de treinamentos, programas de projeto de produtos verdes, estrutura de aprendizagem e programas de transformação para plantas e processos mais ambientalmente benéficos, utilizando P&D (KEMP, Rene; ARUNDEL, 1998). A construção da complexidade ambiental, na gestão da área de P&D, é apresentada na Figura 2.

Figura 2 - Construção da complexidade ambiental na gestão de P &amp; D



Fonte: Autora. Adaptado de KEMP; ARUNDEL, 1998, p.7

A inovação ambiental de produto é a utilização de produtos com implantação de características ambientais no processo produtivo. Estudos de mecanismos de avaliação dos Sistemas de Gestão Ambiental (SGA) tem mostrado que empresas melhoram o desempenho ambiental de produtos através de suas análises e controles (RENNINGS *et al.*, 2006). A inovação ambiental é considerada inovação de processo se for implantada na empresa um processo integrado de medição de pelo menos uma nas etapas anteriores ou posteriores do processo produtivo. Em muitas empresas há uma influência positiva entre sistema de gestão ambiental e inovações ambientais de processo, uma vez que no SGA os requisitos de controle são bem estruturados (RENNINGS *et al.*, 2006; JOVÉ-LLOPIS; SEGARRA-BLASCO, 2018).

As tecnologias utilizadas na inovação ambiental de processos podem ser classificadas em tecnologias *end-of-pipe* e tecnologias limpas ou de controle preventivo (VDI, 2001), que são os dois tipos diferentes de inovações ambientais que atenuam a carga ambiental da produção (FRONDEL; HORBACH; RENNING, 2007). As tecnologias *end-of-pipe*, ou também chamadas tecnologias de fim de tubo, não fazem parte essencialmente do processo produtivo. Elas são adicionadas em um sistema de produção existente e possuem medidas que influenciam nos requisitos ambientais (KEMP; ARUNDEL, 1998; VDI, 2001). De forma geral a aplicação de tecnologias *end-of-pipe* tende a ser limitada e pode ser estimulada pelas questões regulatórias (FRONDEL; HORBACH; RENNING, 2007). São exemplos às tecnologias empregadas em tratamento de água, redutores de ruído e controle de qualidade do ar, dentre outros (VDI, 2001). Já as tecnologias limpas são vistas como redutores diretos de impactos ambientais durante o processo de produção (KEMP; ARUNDEL, 1998; VDI, 2001), reduzindo a produção de poluentes ou consumo de energia e materiais (KEMP, Rene; ARUNDEL, 1998) sendo suas aplicações estimuladas, dentre outros fatores, pelas forças do mercado (FRONDEL; HORBACH; RENNING, 2007). Algumas das principais tecnologias limpas envolvem utilização de materiais ambientalmente corretos e modificação de processos de produção com ganho ambiental (VDI, 2001).

Os principais fatores que impulsionam inovação nas tecnologias de processo tanto nas tecnologias limpas quanto nas tecnologias *end-of-pipe* são as capacidades tecnológicas, a possibilidade de apropriação e a estrutura de mercado. As capacidades tecnológicas tais como *know-how* e conhecimento para desenvolvimento de novos produtos e processos e os fatores internos são fundamentais para a tomada de decisão quanto à inovação implantada. O investimento na implantação de inovações tecnológicas depende de investimentos em pesquisa anterior, tornando difícil a separação entre ambos, levando à apropriação. Esta é,

muitas vezes, dificultada pela criação do monopólio por patentes e a implementação de barreiras de mercado para dificultar imitação ou até mesmo garantir que inovações sejam específicas para as empresas pesquisadas. Sem isso, as inovações podem ser utilizadas por qualquer empresa. A estrutura de mercado também pode impulsionar a inovação uma vez que os mercados competitivos geram pressões constantes na criação de inovações (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2007).

De acordo com a abordagem LBIO (*Literature-Based Innovation Output*) as inovações ambientais são classificadas em sete categorias: produtos mais limpos, tecnologias de economia de energia, processos de produção mais limpa, recuperação e tecnologias de reciclagem, tecnologias de fim-de-linha, produtos que modificam os processos de produção e de diagnóstico e monitoramento ambiental. O desenvolvimento da inovação foi baseado em quatro fases: P&D, protótipo, primeira aplicação e fase de maturidade. As tecnologias mais maduras são tecnologias de reciclagem, tecnologias *end-of-pipe* e tecnologias de redução de energia. A maioria das tecnologias é baseada no conhecimento gerado em curto tempo de desenvolvimento sendo que 86,7% das inovações teve um tempo de desenvolvimento de menos de 5 anos. As ligações com as estratégias da empresa também são amplamente exploradas no estudo, fazendo uma distinção entre a estratégia defensiva e a proativa questionando a natureza proativa de empresas com respeito às questões ambientais. As inovações de produto e processo são muitas vezes associadas com mudanças no processo de produção levando a produtos mais limpos, substituição de materiais, economia de energia, recuperação e reciclagem (KEMP; ARUNDEL, 1998).

A síntese das principais categorias identificadas na revisão de literatura sobre tipos de inovação é apresentada no Quadro 6.

Quadro 6 - Quadro síntese sobre tipos inovação

<b>Categoria</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Autores</b>
Classificação por motivação	Inovação ambientalmente motivada Inovação ambientalmente benéfica	KEMP; FOXON, 2007; KEMP; ARUNDEL, 1998
Classificação por implantação	Incremental Semi-radical Radical	CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KÖNNÖLÄ, 2010; KEMP; ARUNDEL, 1998; ASHFORD; AYERS; STONE, 1985; DAVILA; EPSTEIN; SHELTON, 2009; ARDITO et al., 2018
Classificação por abordagem LBIO	Produtos mais limpos, Tecnologias de economia de energia, Processos de produção mais limpa, Recuperação e tecnologias de reciclagem, Tecnologias de fim-de-linha, Produtos que modificam os processos de produção Diagnóstico e monitoramento ambiental	KEMP; ARUNDEL, 1998

<b>Categoria</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Autores</b>
Classificação por aplicação	Inovação ambiental de produto Inovação ambiental de processo Inovação ambiental organizacional	VDI, 2001

Fonte: Autora

Devido ao seu caráter preventivo, as empresas têm utilizado tecnologias limpas mais frequentemente do que as tecnologias *end-of-pipe* para resolver os problemas ambientais. Estudos revelam que 76,8% das instalações dos países da OECD, como Canadá, França, Alemanha, Hungria, Japão, Noruega e Estados Unidos, investem em produção limpa, sendo o Japão o principal investidor com 86,5% e a Alemanha o menor investidor com 57,5% (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2007). A maior parte das instalações investe em tecnologias limpas, mas as tecnologias *end-of-pipe* ainda são utilizadas como forma de contenção de possíveis impactos gerados acidentalmente.

#### **2.1.4 Inovação Ambiental Tecnológica de Processo**

A mudança ou inserção de tecnologias para controle da poluição pode ser gerada a partir de incentivos tais como impostos sobre as emissões e licenças negociáveis para diversos *stakeholders* tais como poluidores inovadores, poluidores não inovadores, fornecedores externos com proteção de patentes e fornecedores externos sem proteção de patentes. De um modo geral estes incentivos são maiores que os subsídios e os compromissos voluntários tornando-o importante na determinação e implantação da inovação tecnológica ambiental (KEMP; PONTOGLIO, 2011). Uma vez implantada a inovação, ela pode ser difundida para outras organizações através de relatórios ambientais promovendo uma disseminação das tecnologias ambientais mais comumente utilizadas (RENNINGS *et al.*, 2006). A inovação ambiental tecnológica de processo pode ser subdividida em seis tipos: tecnologias de controle de poluição, que impedem a liberação direta de produtos ambientalmente perigosos, emissões para o ar, a água de superfície ou no solo; gestão de resíduos, que trata do manuseio, tratamento e eliminação de resíduos tanto no local como fora da empresa; tecnologia em produção limpa, com alterações integradas no processo e na tecnologia de produção para a redução da quantidade de poluentes e de material residual gerado; reciclagem, com a minimização de resíduos através da reutilização de materiais recuperados nos fluxos de resíduos; produtos limpos com baixos níveis de impacto ambiental em todo o ciclo de vida do projeto, produção, utilização e eliminação; e a tecnologia *clean-up*, que são as tecnologias de

saneamento, como purificadores de ar, cultivo da terra e biorremediação (KEMP; ARUNDEL, 1998).

Instrumentos de controle ambiental impactam diretamente na escolha e adoção da inovação ambiental tecnológica. As multas e Termos de Ajuste de Condutas (TAC) têm sido utilizados com eficiência para controle da poluição. No entanto, não há uma preferência da escolha dos instrumentos de controle, uma vez que seus ganhos dependem de diversos fatores tais como: quantidade de empresas poluidoras, custo da inovação e de sua disseminação (RENNINGS et al., 2006; JOVÉLLOPIS; SEGARRA; BLASCO, 2018). As inovações ambientais tecnológicas podem apoiar a redução do consumo de recursos e sumidouros, independentes da medição utilizada, como intensidade ambiental específica por unidade de produção ou o consumo como média por produto, ou mesmo em volumes totais. As inovações tecnológicas ambientais são projetadas para tornar a produção limpa por meio da implantação de novas estruturas em vez de minimizar os impactos apenas com a redução do consumo ou da produção (HUBER, 2004).

#### **2.1.4.1 BAT**

Na União Europeia, o conceito das BATs foi utilizado pela primeira vez relacionados à proteção atmosférica e hídrica (SILVO et al., 2005; HUYBRECHTS et al., 2018). A Diretiva 96/61 / CE da Comunidade Europeia relativa à prevenção e controle integrados da poluição, também conhecida como Diretiva IPPC poluição (*Integrated Pollution Prevention and Control*), descreve uma sistemática de autorização para certas categorias de instalações industriais que exigiam que os operadores e os reguladores tivessem uma visão global integrada do potencial poluidor e consumidor das instalações (CE, 1996; SILVO et al., 2005; PELLINI; MORRIS, 2001). Sendo assim, o objetivo desta diretiva é promover e controlar de forma integrada a poluição resultante de atividades desenvolvidas nas indústrias do setor de energia na produção e transformação de metais, na indústria mineral, na indústria química, no gerenciamento de resíduo, fabricação de pasta de celulose, dentre outros; através da aplicação das BATs (CE, 1996; PELLINI; MORRIS, 2001).

O documento sobre as BATs trata de princípio geral e básico de orientação sobre requisitos específicos na concessão efetiva de licenciamento, sem considerar técnicas ou tecnologias específicas e que é apresentada em um documento chamado BREF (*BAT Reference Document*). Em especial, o BREF específico sobre a indústria de papel e Celulose

chama-se PP-BREF e foi aplicado no ano 2000. No entanto, a depender de diferenças nas práticas de gestão tais como a priorização de aspectos, ambientais, localidades, requisitos da qualidade de produtos, dentre outros, podem levar as técnicas descritas no PP-BREF não gerar emissões e consumos de acordo com os níveis da BAT a ele associado (SILVO et al., 2005; HUYBRECHTS et al., 2018).

O Reino Unido (UK) foi um dos primeiros membros da União Europeia a implementar um esquema nacional para limitar o impacto ambiental de determinadas operações industriais aplicando o conceito de Controle Integrado de Poluição (IPC) sob a Lei de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Act* - EPA) de 1990. As diferenças mais significativas entre IPC e IPPC são que o último requer um compromisso com a prevenção, bem como o controle levando em conta o uso de recursos, envolvendo questões como ruído, odores e vibração visando minimização de resíduos, eficiência energética e conservação de recursos. Enquanto o IPC exigia o BATNEEC, o IPPC agora requer as BATs. (PELLINI; MORRIS, 2001).

O desempenho ambiental das indústrias tem sido influenciado pela regulamentação, o que inclui o sistema de licenças ambientais dos países em que as fábricas estão instaladas. Na união Europeia, a diretiva relativa ao IPPC, com a nova versão 2008/1/CE, é a principal legislação para fornecer um sistema de autorização ambiental harmonizado integrado para instalações industriais e promove o desempenho ambiental, a eco eficiência e as inovações tecnológicas (PELLINI; MORRIS, 2001; SILVO; JOUTTIJÄRVI; MELANEN, 2009). O IPPC promove, no processo de licenciamento, uma preocupação com meio ambiente mantendo em equilíbrio as emissões de água e ar, a geração de resíduos, a geração de riscos e o consumo eficiente de energia e matérias primas. A ideia central do IPPC é aplicar os conceitos das BATs baseados em processos preventivos, tecnologias de controle a poluição, recursos eficientes, consumo de energia e prevenção de acidentes. A avaliação BAT tem como base os níveis de emissão e consumo aplicados à viabilidade econômica de cada indústria estudada, considerando o setor, as características técnicas das instalações, a sua localização geográfica e as condições ambientais locais (SILVO; JOUTTIJÄRVI; MELANEN, 2009). As BAT são as melhores práticas na indústria de celulose e são estruturadas em dois principais documentos: o documento de referência para a produção de celulose e papel (*Best Available Techniques Reference Document For Pulp And Paper Manufacturing – BREF-PP*), que apresenta a base para as novas conclusões e lista os principais processos e níveis de emissão (SUHR et al., 2015); e o documento de conclusão propriamente dito (CEPI, 2015). Estes documentos foram criados pela confederação das

indústrias europeias de papel (The Confederation of European Paper Industries - CEPI) e são coordenados pelo IPPC servindo de base para a atualização das licenças ambientais das indústrias do setor.

As BAT são organizadas em seis grupos: BAT para indústria de celulose e papel, para o processo de polpa *kraft*, para o processo de polpação sulfito, para a polpação mecânica, para o processamento de papel para reciclagem e para a fabricação de papel (SUHR et al., 2015; CEPI, 2015).

O grupo de BAT para indústria de celulose e papel inclui sistema de gestão ambiental (BAT 01), gestão de materiais e boa limpeza (BAT 02), agentes quelantes do branqueamento (BAT 03), armazenamento e preparação de madeira (BAT 04), redução do consumo de água doce (BAT 05), consumo e eficiência energética (BAT 06), emissões de odor proveniente do sistema de águas residuais (BAT 07), monitoramento dos parâmetros-chave do processo (BAT 08), monitoramento das emissões para o ar (BAT 09), monitoramento das emissões para a água (BAT 10), monitoramento das emissões difusas de redução total de enxofre (*Total Reduced Sulphur – TRS*) (BAT 11), gestão de resíduos (BAT 12), reduzir a emissão de nutrientes (N e P) (BAT 13), tratamento de águas residuais (BAT 14), tratamento de águas residuais terciárias (BAT 15), tratamento biológico de águas residuais (BAT 16), emissões de ruído (BAT 17) e descomissionamento (BAT 18) (SUHR et al., 2015; CEPI, 2015).

O grupo de BAT para processo de polpa Kraft inclui águas residuais e emissões para a água (BAT 19), redução das emissões em gases fortes e fracos odoríferos 13 (BAT 20), emissões de SO<sub>2</sub> e TRS das caldeiras de recuperação (BAT 21), emissões de NO<sub>x</sub> das caldeiras de recuperação (BAT 22), emissões de pó das caldeiras de recuperação (BAT 23), emissões de SO<sub>2</sub> provenientes de fornos de cal (BAT 24), emissões de TRS provenientes de fornos de cal (BAT 25), emissões de NO<sub>x</sub> dos fornos de cal (BAT 26), emissões de poeiras provenientes de fornos de cal (BAT 27), emissões de queimadores para gases com forte odor (BAT 28), emissões de NO<sub>x</sub> dos queimadores para gases com forte odor (BAT 29), produção de resíduos (BAT 30), consumo de energia (BAT 31), e eficiência energética (BAT 32) (SUHR et al., 2015; CEPI, 2015).

O grupo de BAT para processo de polpação de sulfito inclui águas residuais e emissões para a água (BAT 33), medidas para reduzir as emissões de SO<sub>2</sub> (BAT 34), medidas para reduzir as emissões de enxofre difusas (BAT 35), redução das emissões de NO<sub>x</sub> das caldeiras de recuperação (BAT 36), redução das emissões de poeiras e de SO<sub>2</sub> das caldeiras de recuperação (BAT 37), consumo de energia (BAT 38) e eficiência energética (BAT 39) (SUHR et al., 2015; CEPI, 2015).

O grupo de BAT para polpação mecânica inclui águas residuais e emissões para a água (BAT 40) e consumo e eficiência energética (BAT 41) (SUHR et al., 2015; CEPI, 2015).

O grupo de BAT para processamento de Papel para Reciclagem inclui gestão de materiais (BAT 42), utilização da água, fluxo de águas residuais, carga poluente (BAT 43), fechamento do circuito de água e aumento da reciclagem de água de processo (BAT 44), carga de poluição das águas residuais de toda a fábrica (BAT 45) e consumo e eficiência energética (BAT 46) (SUHR et al., 2015; CEPI, 2015). Devido a este trabalho possuir foco na produção de pasta de celulose, este grupo não será aplicado nas análises do trabalho.

Por fim, o grupo de BAT para a fabricação de papel inclui redução da geração de águas residuais (BAT 47), utilização de água e emissões para a água provenientes de fábricas de papéis especiais (BAT 48), redução das cores e dos aglutinantes das cargas de emissão (BAT 49), prevenir e reduzir a carga poluente das águas residuais (BAT 50), emissões para o ar (BAT 51), produção de resíduos (BAT 52) e consumo de energia (BAT 53) (SUHR et al., 2015; CEPI, 2015). Devido a este trabalho possuir foco na produção de pasta de celulose, este grupo não será aplicado nas análises do trabalho.

A regulamentação do IPPC tem como características: A utilização de BAT para prevenção da poluição, a concessão de licenças de operação às instalações, gerar informações sobre aspectos físicos, técnicos e de gerenciamento da instalação, registro público das informações sobre as instalações e análise das questões locais que podem determinar as medidas mais adequadas para a implementação das orientações nacionais e da União Europeia (PELLINI; MORRIS, 2001).

## 2.2 TECNOLOGIAS AMBIENTAIS DE PROCESSOS EM INDÚSTRIA DE CELULOSE

A celulose para papel produzida no Brasil é proveniente das fibras curtas, originado de eucaliptos, e fibras longas, que vem de pinus, obtidas por madeira de reflorestamento. O processo de fabricação de celulose, também chamado de polpação, ocorre em fábricas de celulose ou integradas (papel e celulose) e seus processos específicos podem gerar impactos ambientais diferenciados (SOUZA, 2008).

O processo de polpação *kraft* tem como objetivo a recuperação de reagentes químicos complexos envolvidos no processo de produção. O processo de produção tem como etapas principais: a extração, seleção e preparação da madeira; a transformação da madeira em polpa marrom, pelo processo de digestão e recuperação de reagentes químicos; a transformação da polpa celulósica marrom em branqueada; e a produção do produto final, podendo ser papel ou

papelão ou a própria polpa (SOUZA, 2008; SUHR et al., 2015). De maneira geral, o processo de produção de polpa celulósica *Kraft* inicia-se nas florestas, que na maioria das vezes pertence às próprias indústrias, com o corte de toras de madeira e transporte para a fábrica. Algumas áreas florestais já possuem descascador e enviam a madeira sem casca para as indústrias, no entanto, muitas fábricas descascam no próprio pátio de madeiras da fábrica, sendo as cascas enviadas para a caldeira de biomassa (SUHR et al., 2015). No pátio de madeiras, é feita uma avaliação da qualidade da madeira. As matérias primas que não atendam aos requisitos são enviadas para o picador, transformadas em cavacos, peneiradas e enviadas para alimentar a caldeira de biomassa e conseqüentemente gerar energia complementar (SUHR et al., 2015). As toras de madeira que atendem às especificações são lavadas, picadas em cavacos que são classificados em peneiras e enviados para cozimento. (SOUZA, 2008). O cozimento, ou processo de digestão, dura em torno de duas horas e meia no digestor com uma solução alcalina com hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S) chamado licor de cozimento ou licor branco e tem como objetivo dissolver a lignina da madeira e separar as fibras, transformando-as em polpa marrom (*Brown Stock*) (SUHR et al., 2015).

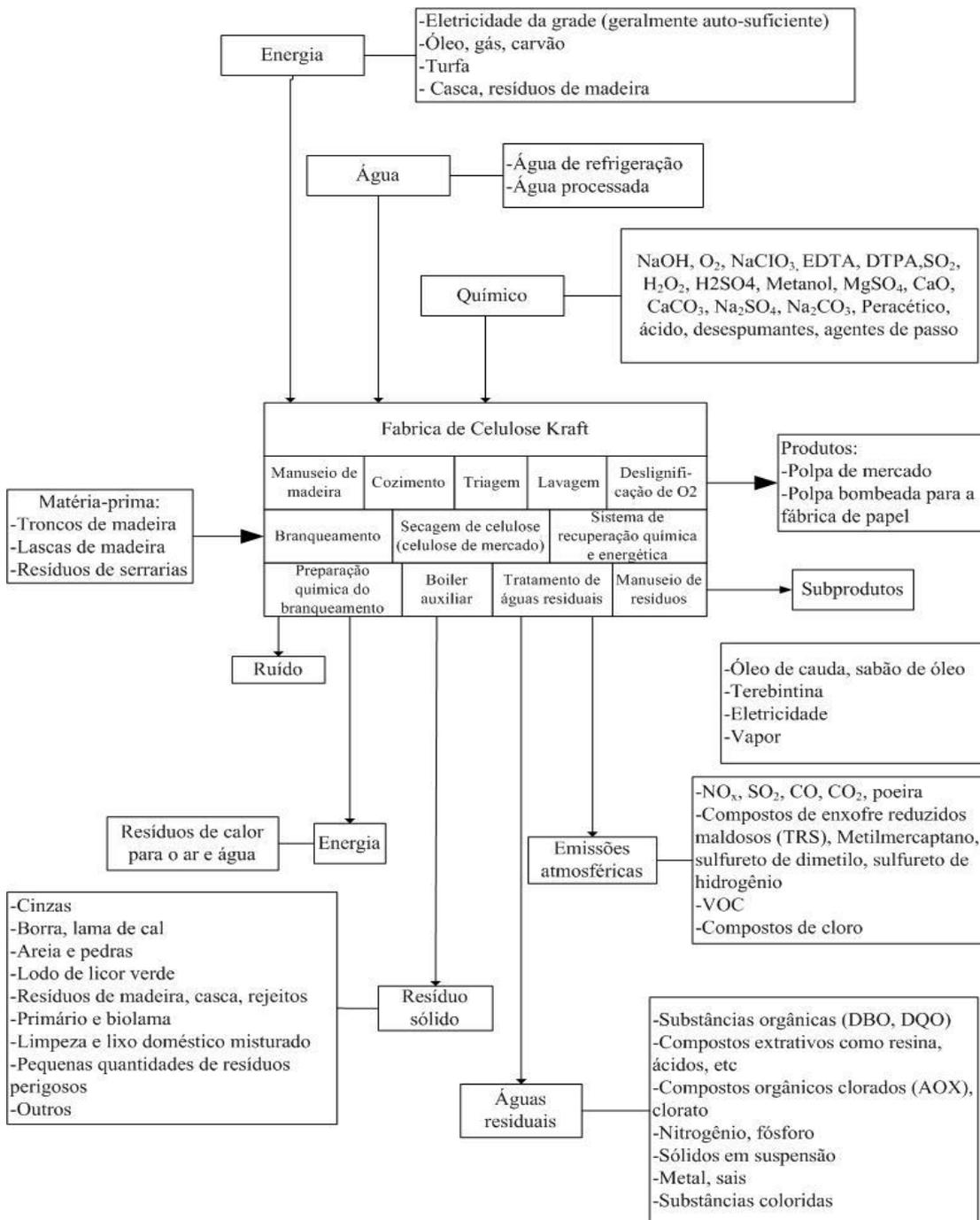
Após este processo, o licor branco se transforma em licor negro pois possui, além da lignina, os reagentes e outros compostos da madeira (hemicelulose, extrativos). Após o cozimento, a celulose e o licor negro são separados em um tanque de descarga (*Blow Tank*), a polpa é lavada e o licor negro fraco é enviado para evaporação, que torna o licor mais concentrado para posterior queima na caldeira de recuperação. A caldeira de recuperação gera vapor para cogeração de energia elétrica e ocorre a recuperação dos compostos de sódio em carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), emitindo particulados e enxofre total reduzido (*Total Reduced Sulfur - TRS*) (SUHR et al., 2015).

Depois da queima do licor negro, os compostos inorgânicos, também chamados de *smelt*, são coletados e dissolvidos em água quente formando o licor verde que será utilizado na recuperação de reagentes. Inicialmente o licor verde será tratado com filtração ou decantação para remover cinzas e impurezas. O licor branco recuperado volta para o processo de digestão (SOUZA, 2008; SUHR et al., 2015).

Na saída do digestor, a massa marrom formada por fibras de celulose é lavada a vácuo em tambores com água quente, para retirar qualquer resíduo de licor, formando a polpa *Kraft*. Devido a lignina, a polpa é escura e precisa passar pelo processo de pré-branqueamento ou deslignificação, adicionando o oxigênio (O<sub>2</sub>), o sulfato de magnésio (MgSO<sub>4</sub>) para manter a integridade da massa e licor branco fraco em um reator pressurizado para solubilização. Se

após o processo de deslignificação ainda houver resíduo de lignina, esta será oxidada pelos processos totalmente livres de cloro (*Totally Chlorine Free – TCF*), que utiliza oxigênio ( $O_2$ ), peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e ozônio ( $O_3$ ). Por fim, a celulose branca passa pela secadora saindo em bobinas (SUHR et al., 2015). O processo de produção de celulose *Kraft* pode ser encontrado na Figura 3.

Figura 3 - Visão de entrada / saída para a produção de celulose Kraft



Fonte: Autora. Adaptado de Suhr et al., 2015, p. 212

A fabricação de celulose *Kraft* possui como processos principais e secundários o manuseio de madeira, o cozimento, a lavagem, a deslignificação de oxigênio, o branqueamento, a secagem de celulose, o sistema de recuperação química e energética, a preparação química do branqueamento, aquecimento, tratamento de águas residuárias o manuseio de resíduos. Estas atividades possuem como aspectos de entrada o consumo de energia, água e produtos químicos e, como aspectos de saída: o ruído, os resíduos sólidos, as emissões atmosféricas e as águas residuais (SUHR et al., 2015). Os impactos ambientais podem ser controlados a partir da gestão dos seus aspectos ambientais mais significativos dos seus processos (MONTE et al., 2009).

### **2.2.1 Redução no grau de utilização dos recursos naturais**

Recursos naturais são produtos não artificiais extraídos colhidos ou usados, gerando renda ou serviços e outros fins funcionais em benefício da humanidade. Incluem-se minerais sólidos, petróleo, água, recursos hídricos, estoque de animais, energia e consumo de água e podem ser classificados em renováveis e não renováveis. O consumo de recursos em excesso pode levar a escassez ambiental levando a degradação e ao esgotamento do meio ambiente gerando risco para a vida humana (OLUNIYI, 2014). Desta forma, o consumo de energia e água são tópicos de recursos naturais importantes para a indústria de Celulose, discutidos a seguir.

#### **2.2.1.1 Energia**

A indústria da celulose vem crescendo e com ela o consumo de energia elétrica necessária para a sua manutenção (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016). O principal indicador influenciador no grau de utilização de recursos naturais é a intensidade de gastos monetários em energia elétrica, podendo ser classificado em alto, médio e baixo em vez de utilizar o indicador de consumo de energia elétrica (CARVALHO, 2005). A intensidade no consumo de energia elétrica depende também do percentual de compra de energia elétrica e da relação entre o gasto com energia elétrica (EE) e a intensidade desse gasto no Valor da Transformação Industrial (VTI). O setor que possui relação superior a 3,9% é classificado como alta intensidade no consumo de energia elétrica, entre 2,0% e 3,9% é classificado como média e abaixo de 2,0% é considerado baixa intensidade no consumo de energia elétrica. Já

com relação aos gastos com energia elétrica, os setores com alta intensidade de gastos têm o EE em torno de 62%, os setores de média intensidade têm o EE em torno de 24,6% e os setores de baixa intensidade tem EE em torno de 13,4%. Para este cálculo não é considerada a autoprodução de energia elétrica (CARVALHO, 2005).

Atualmente há um grande potencial para aumentar a eficiência energética nos setores industriais (COOREMANS; SCHONENBERGER, 2019). Um exame das tendências, taxas atuais de utilização de energia e reservas estimadas mostram que uma importante transição mundial dos recursos não renováveis tais como carvão, gás natural, petróleo e energia nuclear para recursos renováveis é necessária (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019).

Os recursos de combustíveis fósseis serão esgotados ou se tornarão caros sendo necessária para a remediação a redução do uso de energia per capita global ou desenvolvendo um portfólio de tecnologias de energia renovável e sustentável para atender à crescente demanda e substituindo fontes não renováveis de energia por fontes renováveis, tais como energia hídrica, geotérmica, solar, eólica e biomassa (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010). A escolha de fontes energéticas depende de avanços tecnológicos (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010), condições geopolíticas (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019), mudanças ambientais (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010), riqueza de recursos naturais (AHMADOV; BORG, 2019) e as forças econômicas (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019).

Os custos de tecnologias de energia renovável são maiores em países em desenvolvimento do que nos países desenvolvidos (LABORDENA et al., 2017; AHMADOV; BORG, 2019). Em compensação, nos países em desenvolvimento, a mão-de-obra é mal treinada e o clima de investimento é muito mais inseguro, o que torna incerta a economia da produção de energia renovável (LABORDENA et al., 2017). A principal dificuldade na implantação de energias renováveis está relacionada aos custos da produção de energia renovável, que excedem os custos de muitas tecnologias de combustíveis fósseis, tornando esses investimentos em algumas situações economicamente impopulares (AHMADOV; BORG, 2019)

A metodologia de análise das fontes renováveis tem como etapas: obtenção da produção total atual de energia a partir de várias fontes renováveis; obtenção da taxa atual de aumento de utilização e aplicação às tecnologias renováveis; realização de análises sobre a queda do consumo de combustíveis fósseis, aumento da taxa de utilização renovável e identificação de novas fontes (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010).

O planejamento da política energética tem como princípios: expandir a geração de eletricidade por meio de um sistema centralizado e descentralizado, utilizando energia convencional ou renovável, com base nos recursos disponíveis no mercado interno; expandir o acesso a combustíveis modernos e mais limpos, incluindo gás liquefeito de petróleo, em áreas rurais, por meio de colaboração pública e privada, a fim de fornecer alternativa acessível ao uso tradicional de combustível para uso doméstico e industrial; busca da eficiência energética relacionada ao uso de menos energia para fornecer o mesmo serviço; melhorias na eficiência energética para produzir benefícios ambientais diretos, não apenas reduzindo a poluição por óleo, mas também reduzindo a utilização de combustíveis bem como o custo da minimização da poluição e melhoria da qualidade energética para redução da taxa de consumo de energia (OLUNIYI, 2014).

A eficiência energética é um índice importante que determina diretamente a quantidade de consumo de energia e emissões de poluição (LIN; ZHENG, 2017). Os indicadores comumente usados de eficiência energética se dividem em duas categorias: Índice de Fator Total de Eficiência Energética (*Total Factor Energy Efficiency – TFEE*) e índice de fator único (LIN; ZHENG, 2017). O índice de fator único é a razão simples entre saída e entrada de energia. O índice de fator total considera os diferentes insumos relacionados à energia (LIN; ZHENG, 2017; FEI; LIN, 2016). De modo geral, o índice total de fatores é superior ao índice de fator único, mas com a incorporação das novas tecnologias o índice total de eficiência tem sido mais utilizado nas empresas (LIN; ZHENG, 2017; ZHOU; ANG; POH, 2008). Pesquisas em nível industrial mostram que os indicadores de eficiência energética são melhores em empresas que possuem progresso tecnológico gerando uma maior economia de energia (WEI; LIAO; FAN, 2007). O Método DEA (*Data Envelopment Analysis*) foi definido para avaliar a eficiência energética e ele envolve as medições de eficiência e pressuposto tecnológico, sendo que este inclui aspectos relacionados à tecnologia de produção, como a disponibilidade de saídas e insumos, as características operacionais e a propriedade dos retornos de escala (ZHOU; ANG; POH, 2008). As principais variáveis para cálculo da eficiência energética são as saídas de produção, capital, mão de obra e energia. O valor da produção industrial bruta é calculado com base nos índices de preços e à saída da fábrica. A entrada de capital é calculada com base no estoque permanente, ativos e depreciações. Para o cálculo da mão de obra são consideradas as pessoas empregadas na indústria e a produtividade do trabalho. Por fim, a entrada de energia considera o consumo de energia, a intensidade de energia e o valor da produção industrial. No caso das indústrias de celulose, a

eficiência energética melhora com o desenvolvimento da indústria e com o progresso tecnológico (LIN; ZHENG, 2017).

A síntese das principais categorias identificadas na revisão de literatura sobre energia é apresentada no Quadro 7.

Quadro 7 - Quadro síntese sobre energia

<b>Categorias</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Elementos</b>	<b>Autores</b>
Impactos ambientais	Escassez de recursos naturais	Consumo de energia	SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008
Fontes de energia	Não Renováveis	Carvão	FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019
		Gás natural	
		Petróleo	
	Renováveis	Energia nuclear	FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010
		Energia hídrica	
		Geotérmica	
		Solar	
Eólica			
Biomassa			
Metodologia de análise	Determinantes de escolha de fontes energéticas	Avanços tecnológicos	FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010
		Condições geopolíticas	FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019
		Mudanças Ambientais	FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010
		Riqueza de recursos naturais	AHMADOV; BORG, 2019
		Forças econômicas	FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019
	Etapas	Obtenção da produção total a partir das fontes renováveis	FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010.
		Obtenção da taxa de aumento de utilização e aplicação das tecnologias renováveis	
		Análises sobre a queda do consumo de combustíveis fósseis	
		Aumento da taxa de utilização renovável	
		Identificação de novas fontes	
	Indicadores (GU)	Intensidade de gastos monetários	Classificação em alto, média e baixa
Indicadores de consumo de energia elétrica		Percentual de compra de energia Relação entre o gasto com energia elétrica (EE) e a intensidade desse gasto no Valor da Transformação Industrial (VTI).	CARVALHO, 2005
Eficiência energética	Análise de cenário mundial	Tendências	COOREMANS; SCHONENBERGER, 2019;FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019
		Taxas anuais de utilização de energia	
		Reservas estimadas	
	Indicadores	Índice de Fator Total de Eficiência Energética	LIN; ZHENG, 2017; FEI; LIN, 2016
		Índice de fator único	
	Variáveis de cálculo	Eficiência energética total dos fatores	LIN; ZHENG, 2017
		Saídas de produção	LIN; ZHENG, 2017
Capital			
Mão de obra			
Energia			

Fonte: Autora

Melhorias na eficiência energética reduzem os custos dos serviços de energia e, em algumas circunstâncias, aumentam a renda disponível. Isso gera um aumento adicional de consumo de bens e serviços que precisam de energia adicional para ser produzidos, distribuídos e consumidos (FREIRE-GONZALEZ; VIVANCO, 2017). Se por um lado a energia é fundamental para o desenvolvimento das atividades nas organizações, por outro lado pode gerar gás de escape na produção gerando danos irreversíveis ao meio ambiente tais como o aquecimento global e emissões de carbono (LIN; ZHENG, 2017) (FREIRE-GONZALEZ; VIVANCO, 2017). A melhoria de eficiência energética leva a redução do uso de recursos de energia, combustíveis fósseis e minérios metálicos e aumento do consumo de minerais não metálicos e água (FREIRE-GONZALEZ; VIVANCO, 2017)

#### 2.2.1.1.1 Tecnologias ambientais para redução do consumo de energia

O estudo de Kivimaa; Kautto (2010) evidencia a utilização de subprodutos do processo para geração de energia tais como o licor negro e a biomassa. Os principais casos, descrições e benefícios apresentados no estudo são apresentados no Quadro 8.

Quadro 8 - Uso de subprodutos de produção para energia

<b>Casos de Tecnologia</b>	<b>Descrição</b>	<b>Benefícios Ambientais</b>
Gaseificação de licor negro para eletricidade (muitos desenvolvedores na Finlândia e Suécia)	Produção de eletricidade a partir de subproduto da celulose tomada através de uma gaseificação técnica	Uma maneira neutra de CO <sub>2</sub> de produzir eletricidade aumenta o rendimento da eletricidade em comparação com disponíveis tecnologias
Gaseificação de licor negro para transporte de combustíveis (Chemrec, Suécia)	Produção de DME, um combustível de transporte limpo a partir de um subproduto da fabricação de técnica.	Reduções das emissões de CO <sub>2</sub> substituindo o uso de combustível fóssil em veículos tem uma maior eficiência do que outras opções para a produção de transporte de biocombustíveis
Gaseificação de Biomassa para transporte de combustíveis (VTT, Finlândia)	Produzir biocombustíveis de transporte através da alimentação de resíduos de biomassa adicionais Para um processo de gaseificação instalado em usinas P & P integradas	Reduções nas emissões de CO <sub>2</sub> através da substituição do uso de combustíveis fósseis em veículos tem geralmente uma maior eficiência do que as soluções baseadas na agricultura para a produção de biocombustíveis de transporte
Extração de lignina (STFI, Suécia)	Extração de lignina, um composto químico de madeira, do processo de fabricação da polpa, para produção de Biocombustíveis.	Reduzir emissões de CO <sub>2</sub> através da substituição de óleo mineral

Fonte: Autora. Adaptado de Kivimaa; Kautto, 2010

O processo de fabricação de celulose gera alguns resíduos cuja destinação além de cara pode gerar riscos de acidentes ambientais. Estudos mostraram a viabilidade de transformar estes resíduos em subprodutos que pudessem trazer um maior aporte energético

nas plantas. O licor negro gaseificado ou quimicamente tratado e a biomassa queimada geram vapor nas caldeiras e conseqüentemente mais energia na unidade industrial (KIVIMAA; KAUTTO, 2010; SUHR et al., 2015). Outras tecnologias de processos podem apoiar a redução do consumo de energia. As tecnologias emergentes de eficiência energética são divididas em novas tecnologias de pré-tratamento de matérias primas, tecnologias de polpação emergentes, tecnologias emergentes de fabricação de papel, novas tecnologias de secagem de papel e Tecnologias emergentes de subproduto/ utilização de biomassa (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016).

As novas tecnologias de pré-tratamento de matérias-primas são aplicadas com o objetivo de melhorar a performance da polpação levando a um menor consumo de energia (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016). A descrição dessas tecnologias bem como os seus benefícios são apresentados no Quadro 9.

Quadro 9 - Novas tecnologias de pré-tratamento de matérias-primas

<b>Tecnologias</b>	<b>Descrição</b>	<b>Resultado</b>
Pré-tratamento de micro-ondas	Altera as microestruturas celulares que controlam a permeabilidade da madeira, de modo que os químicos possam passar mais facilmente para o centro dos cavacos	Reduz a quantidade de energia e produtos químicos necessários para o processo. Diminuir o consumo de combustível do forno de cal
Pré-tratamento químico com ácido oxálico	Utiliza principalmente ácido oxálico (OA), lixiviação ácida e soluções salinas tratadas eletroquimicamente para aumentar a eficiência de refinação na polpação mecânica.	Pode reduzir o uso de energia e melhora a qualidade do papel
Pré-tratamento biológico	Modifica a parede celular das fibras e alterando seu ambiente externo para melhorar o refino sem comprometer a qualidade da polpa	Diminuir o consumo de energia para a polpação mecânica

Fonte: Autora. Adaptado de Kong; Hasanbeigi; Price, 2016

As Tecnologias de Polpação Emergentes envolvem utilização dirigida de licor verde (D-GLU), concentração de licor através de tecnologia de separação por membranas, caldeira de recuperação de reaquecimento de dupla pressão, auto caustificação de borato, lavagem a ciclo de vapor, fracionamento de papel reciclado (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016). As principais tecnologias são apresentadas no Quadro 10.

Quadro 10 - Tecnologias de Polpação Emergentes

<b>Tecnologias</b>	<b>Descrição</b>	<b>Resultado</b>
Processamento Direcionado de Utilização de Licor Verde	Baseia-se na reutilização de licor verde para o pré-tratamento das aparas de madeira antes da polpação <i>kraft</i> .	Polpação redireciona de 20 a 30% do licor verde do processo de caustificação para o pré-tratamento antes de ser cozido no digestor reduzindo a energia no forno de cal e no digestor

<b>Tecnologias</b>	<b>Descrição</b>	<b>Resultado</b>
Concentração de Membrana de Licor Negro	Concentra sólidos de alto peso molecular a partir da fração de baixo peso molecular do licor negro fraco	O licor negro concentrado pode atingir um maior teor de sólidos. Reduzir a energia da indústria.
Caldeira de recuperação de reaquecimento de pressão dupla	Aproveita o potencial de geração de energia do ciclo de reaquecimento de alta pressão em uma caldeira de recuperação	O forno é operado a temperaturas e pressões mais altas que permitem a implementação de ciclos de vapor de reaquecimento de maior eficiência
Auto caustificação de borato	Recuperação química	Redução de Cal e melhoraria do rendimento da polpa
Lavagem do ciclo de vapor	Lavagem com tambor rotativo	Maximizar o retorno do licor de polpa à recuperação química e minimizar o custo da evaporação do vapor, bem como minimizar a perda de lavagem na planta de branqueamento.
Fracionamento de papel reciclado	Fracionamento realizado em telas de pressão e em limpadores centrífugos	Melhorar a qualidade da polpa destinada (DIP) separando fibras longas de fibras curtas e finas
Deinking spray de surfactante	O agente tenso ativo aumenta a remoção de tinta por adsorção nas superfícies das partículas de tinta e reduzindo as suas características hidrófobas, para que possam ser mais facilmente separadas e removidas da suspensão de pasta	Reciclar vários tipos de papel que melhora a remoção de tinta reduz o uso de produtos químicos e a perda de fibra e água durante a remoção de tinta e fornece melhor controle do processo do que as tecnologias atuais de remoção de tinta

Fonte: Autora. Adaptado de Kong; Hasanbeigi; Price, 2016

As tecnologias de membrana mais comuns na indústria de celulose e papel são a microfiltração (MF), Ultra Filtração (UF), Nano Filtração (NF) e Osmose Inversa (OI). Com relação às tecnologias de lavagem, as principais são lavagem de tambor, lavagem por difusão, lavagem por prensa, lavagem por deslocamento, lavagem por correia e lavagem por diluição / extração (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016).

As Tecnologias emergentes de subproduto/ utilização de biomassa gaseificação de licor negro e de biomassa, extração de hemicelulose, *LignoBoost* e outros conceitos de biorrefinaria (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016). As principais tecnologias são apresentadas no Quadro 11.

Quadro 11 - Tecnologias emergentes de subproduto

<b>Tecnologias</b>	<b>Descrição</b>	<b>Resultado</b>
Gaseificação de licor negro	Pirólise de licor negro concentrado em uma fase inorgânica e uma fase gasosa através de reações com oxigênio ou ar a altas temperaturas	Aumentar a eficiência de recuperação de energia
Gaseificação de biomassa	Processo termoquímico para decompor os hidrocarbonetos complexos da biomassa em <i>syngas</i> , que consiste principalmente de H <sub>2</sub> , monóxido de carbono (CO) e CH <sub>4</sub>	Aumentar a eficiência de recuperação de energia
Extração de hemicelulose antes da polpação química	Hemicelulose é removida por dissolução no licor negro juntamente com a lignina	Diminuir os tempos de residência na polpação <i>kraft</i> , resultando em capacidade de polpação potencialmente aumentada ou a opção de usar temperaturas de cozimento mais baixas

<b>Tecnologias</b>	<b>Descrição</b>	<b>Resultado</b>
<i>LignoBoost</i>	Extraí lignina do licor negro com o potencial de criar novas receitas para as fábricas de celulose.	Diminuir o pH do licor negro que causa a precipitação da lignina
Outros conceitos de biorrefinaria	Usar todos os tipos de biomassa disponíveis	Desenvolvimento de biocombustíveis

Fonte: Kong; Hasanbeigi; Price, 2016

Além das tecnologias identificadas, há melhores práticas que permitem uma otimização dos processos gerando ganho ambiental. As melhores técnicas disponíveis também contemplam técnicas para redução do consumo de energia sendo este tópico apresentado no Quadro 12.

Quadro 12 - BATs sobre energia

<b>BAT</b>		<b>Técnicas</b>
BAT 06	Consumo e eficiência energética	Utilização da energia incluindo - Avaliação do consumo total de energia e da produção da instalação - Localização, quantificação e otimização do potencial de recuperação de energia - Monitoramento e salvaguarda do perfil ótimo de consumo de energia
		Recuperação de energia através da incineração dos resíduos da produção de pasta e papel, com elevado teor de matéria orgânica e elevado poder calorífico.
		Satisfazer as necessidades de vapor e energia elétrica por processos de produção através da cogeração de calor e eletricidade
		Utilização do excesso de calor para a secagem da biomassa e de lodos, para o aquecimento da água de alimentação das caldeiras e da água dos processos.
		Utilização de termo compressor.
		Isolamento adequado das condutas de vapor e condensado
		Utilização de sistemas de vácuo energeticamente eficiente para a remoção de água
		Utilização de motores, bombas e agitadores elétricos de alta eficiência.
		Utilização de inversores de frequência nos ventiladores, compressores e bombas.
		Ajustamento dos níveis de pressão de vapor às necessidades reais
BAT 31	Consumo de energia	Utilização de prensas eficientes ou secagem para aumentar o teor de sólidos secos da casca
		Caldeiras de alta eficiência na produção de vapor
		Sistemas secundários de aquecimento eficientes
		Fechamento de circuitos de água, incluindo nas instalações de branqueamento.
		Aumento da consistência da pasta
		Instalações de evaporação de alta eficiência
		Recuperação do calor dos tanques de dissolução
		Recuperação e utilização de correntes de efluentes a baixa temperatura e de outras fontes de calor residual para o aquecimento
		Utilização adequada do calor secundário e dos condensados secundários
		Monitorização e controle dos processos por recurso a sistemas avançados de controle
		Otimização da rede integrada de trocadores de calor
		Recuperação de calor dos efluentes gasosos da caldeira de recuperação, entre o precipitador eletrostático e o ventilador.
		Maior consistência possível da pasta nas fases de clivagem e lavagem
		Utilização de controlo da velocidade em grandes motores
Utilização de bombas de vácuo eficientes		
Dimensionamento adequado das tubagens, das bombas e dos ventiladores.		
Otimização dos níveis dos tanques		
BAT 32	Eficiência energética	Aumento do teor de sólidos secos no licor negro
		Elevadas pressões e temperaturas nas caldeiras de recuperação

BAT		Técnicas
BAT 32	Eficiência energética	Pressão do vapor à saída das turbinas de contrapressão tão baixa quanto tecnicamente exequível
		Turbinas de condensação para o aproveitamento do excesso de vapor para a produção de eletricidade
		Turbinas de alta eficiência
		Pré-aquecimento da água de alimentação das caldeiras a uma temperatura próxima da temperatura de ebulição
		Pré-aquecimento do ar de combustão e do combustível de alimentação das caldeiras

Fonte: Suhr et al., 2015

Basicamente as BAT de energia focam no consumo de energia e na eficiência energética identificando diversas técnicas que auxiliariam na melhoria do desempenho ambiental.

### 2.2.1.2 Consumo de Água

A indústria de celulose consome muita água doce para a manutenção de seus processos (BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; GÖNDER; ARAYICI; BARLAS, 2011; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). Os processos de lavagem de madeira e o próprio processo de fabricação levam ao consumo de água na fábrica de celulose. Com relação ao aspecto ambiental de consumo de água, o principal impacto ambiental é a escassez de recursos naturais tendo como remediação a recirculação de água (SUHR et al., 2015; LI et al., 2016).

Em pesquisas anteriores, a rede de utilização de água de uma fábrica de celulose de palha e papel baseia-se em quatro principais tipos de consumo de água ao longo de todo o processo de produção. Nos processos de lavagem de polpa, a água é utilizada essencialmente como meio de transporte e desempenha um papel importante na regulação da concentração de polpa não sendo necessária a exigência de alta qualidade da água, diferente do processo de papel ou do sistema de água de resfriamento. O princípio de economia de água envolve análise sistemática, consumo de água de acordo com a qualidade da água, uso múltiplo da água considerando os requisitos de procedimentos e equipamentos sobre qualidade da água e volume de água. Sendo assim, para resolver os problemas de elevado consumo de água doce e baixa eficiência da utilização de recursos hídricos é recomendada a utilização da água doce somente na preparação do licor, utilização de sistema de uso de água em cascata, sistema de reuso da água, reutilização do esgoto (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; LI et al., 2016).

O sistema de índices de avaliação de desempenho do sistema de uso da água de uma indústria de celulose e papel é dividido em dois níveis: o nível de processo e o nível de empresa. O nível de processo envolve basicamente a produção da polpa enquanto que o nível de empresa envolve não somente os indicadores referentes ao produto final papel, como também inclui indicadores sobre a utilização da água. São exemplo de indicadores do nível empresa consumo de água/ t de papel, consumo de água reciclada/ t papel, o consumo de água doce/ t papel, emissões de efluentes/ t, consumo total de água, valor de utilização das tecnologias de água doce industrial, valor de utilização das tecnologias de utilização da água, taxa de circulação de água e eficiência dos recursos hídricos. No nível de processo, tem-se como exemplo o consumo de água/ t de polpa, consumo de água reciclada/ t de polpa, consumo de água fresca/ t de polpa, emissão de esgoto/ t de polpa, circulação de água no processo produtivo e eficiência de recursos hídricos na produção (LI *et al.*, 2016).

A síntese das principais categorias identificadas na revisão de literatura sobre consumo de água é apresentada no Quadro 13.

Quadro 13 - Quadro síntese sobre consumo de água

<b>Categorias</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Elementos</b>	<b>Autores</b>
Economia de água	Consumo de água	Qualidade da água	ASHRAFI; YERUSHALMI;
	Uso múltiplo da água	Requisitos de procedimentos e equipamentos sobre qualidade e volume da água	HAGHIGHAT, 2015; LI et al., 2016.
Consumo de água	Utilização nos Processos de celulose	Processos de lavagem de polpa Regulação da concentração de polpa Processo de papel Sistema de água de resfriamento	ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; LI et al., 2016.
Avaliação de desempenho	Nível de Processo	Indicadores de produção de polpa	LI et al., 2016
	Nível de Empresa	Consumo de água/ t de papel Consumo de água reciclada / t papel Consumo de água doce / t papel Emissões de esgoto / t Consumo total de água Valor de utilização das tecnologias de água doce industrial Valor de utilização das tecnologias de utilização da água Taxa de circulação de água Taxa de eficiência dos recursos hídricos	LI et al., 2016

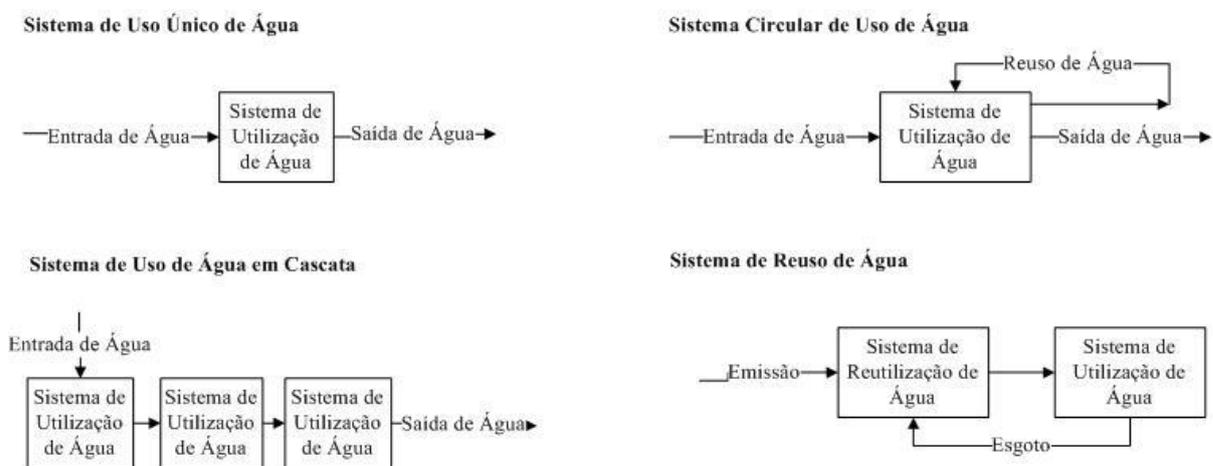
Fonte: autora

A avaliação de desempenho é realizada a partir dos indicadores sugeridos, encontrados também nos relatórios GRI das empresas (LI et al., 2016).

### 2.2.1.2.1 Tecnologias Ambientais para redução do consumo de água

As águas residuais podem ser recicladas para a reutilização na própria indústria de celulose e papel, caso a sua qualidade pós-tratamento obedeça às normas ambientais e operacionais (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). O sistema de utilização de água na indústria de celulose pode ser dividido em quatro tipos: sistema de utilização única, sistema de circulação de água, sistema de cascata e sistema de reutilização de água (LI *et al.*, 2016). Os tipos de sistemas de uso de água podem ser visualizados na Figura 4.

Figura 4 - Tipos de Sistemas de Uso de Água



Fonte: Autora. Adaptado de Li *et al.*, 2016) p. 260

O sistema de utilização única da água indica que a água, com suas características e qualidade, é utilizada somente uma vez e posteriormente descartado em outro sistema bem definido. O sistema circular de água define que a água descarregada é reutilizada pelo sistema depois de ser descarregada diretamente ou depois de ser retirada durante o processo produtivo. Sistema em cascata indica que a água descarregada de outro usuário em determinada sequência é utilizada por vários processos ou usuários com base em suas diferentes exigências e características de temperatura e qualidade da água durante a produção. Por fim, o sistema de reuso de uso de água significa que a água descarregada é tratada e reutilizada em diferentes processos de produção de uma empresa (LI *et al.*, 2016).

Algumas tecnologias para a reestruturação da rede de água têm sido utilizadas tais como: integração de processos de uso de água em sistema único; reestruturação da rede de água por meio de algoritmos de programação linear; utilização de sistema de cascata de água em moinho integrado; tecnologia de pinçamento de água; avaliação da repiçamento da rede de água existente com reatribuição de unidades de tratamento; adição de novas unidades de

tratamento de água. Nesse modelo, a planta de reestruturação pode levar a taxa de reuso da água a 71% e a redução do custo anual total de 54% (LI *et al.*, 2016). Foi adicionada a este modelo a Análise de Fluxo de Substância (AFS) que é um método que descreve os caminhos de entrada-saída, quantidade de entrada, quantidade de saída e capacidade de armazenamento, visando o equilíbrio de massas e descrevendo as fontes, caminhos e sumidouros intermediários e finais em processos específicos. De forma aplicada, a AFS é utilizada para identificar as causas da poluição específica no processo e encontrar possibilidades para alterar ou prevenir esses problemas (LI *et al.*, 2016).

A síntese sobre o consumo de recursos hídricos é apresentada no Quadro 14.

Quadro 14 - Quadro Síntese de Recursos Hídricos

<b>Categorias</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Elementos</b>	<b>Autores</b>
Recursos hídricos	Sistemas de Utilização	Sistema de utilização única Sistema de circulação de água Sistema de cascata Sistema de reutilização de água	LI et al., 2016; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015
	Indicadores de utilização no processo de fabricação de polpa	Consumo de água / t de polpa Consumo de água reciclada / t de polpa Consumo de água fresca / t de polpa Emissão de esgoto / t de polpa Taxa de circulação de água e Eficiência de recursos hídricos	LI et al., 2016

Fonte: Autora

Na categoria recursos hídricos foram estabelecidas como subcategorias sistemas de utilização, com elementos sistema de utilização única, sistema de circulação de água, sistema de cascata e sistema de reutilização de água; e indicadores de utilização de processos de fabricação de polpa (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; LI et al., 2016). Para resolver os problemas de elevado consumo de água doce e baixa eficiência da utilização de recursos hídricos uma das propostas é utilização da água doce somente na preparação do licor físico, utilização de sistema de uso de água em cascata, sistema de reuso da água, reutilização do esgoto (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; LI et al., 2016).

### **2.2.2 Redução de potencial de poluição na indústria de papel e celulose**

Investir em tecnologias ambientais tem sido dificultado por questões práticas como o custo do investimento e o alto risco envolvido no comprometimento de capital com tecnologia não comprovada. Fatores como a responsabilidade social corporativa, a pressão das partes

interessadas e a pressão do público em geral, também afetam a decisão final que acabam considerando estudos e projetos já testados na indústria de aplicação (PAJUNEN *et al.*, 2012).

As principais tecnologias utilizadas nas indústrias de celulose são alteração de novos processos de produção mecânica de celulose, utilização de embalagem reciclada e utilização do RFID (*Radio Frequency Identification*). A Fábrica BCTMP, na Finlândia, possui um novo tipo de processo de produção mecânica de celulose que tem maior eficiência e permite um maior nível de brancura nos produtos finais utilizando metade da quantidade de produtos químicos e menos energia do que o processo de polpa de sulfato, exceto o calor e a energia gerados a partir de polpação com sulfato. Com isso há redução da carga de águas residuais em um ciclo de água quase fechado e economia de energia indireta nos transportes devido à redução do peso dos produtos. Na Dinamarca, há utilização de embalagem reciclada de fibra moldada reciclável e biodegradável feita de papel reciclado tendo como benefício ambiental a redução do uso de materiais e energia, redução da quantidade de resíduos (KIVIMAA; KAUTTO, 2010).

### 2.2.2.1 Poluição Hídrica

A poluição hídrica é caracterizada pela descarga de elementos resultantes do processo produtivo gerando impacto ambiental. Para que isso não atinja grandes proporções faz-se necessário aplicar requisitos específicos de gerenciamento de águas residuais. Isso permite o exame dos impactos potenciais nos ecossistemas sejam eles de água doce, sejam de água salgada (BAI *et al.*, 2018). A poluição hídrica é decorrente de diversos fatores, dentre eles o lançamento de efluentes não tratados. Os principais impactos são gerados a partir de elementos específicos conforme apresentados no Quadro 15.

Quadro 15 - Impactos gerados pela poluição hídrica

Aspectos	Impactos
Consumo de Água	Escassez de recursos naturais
Efluente de dióxido de cloro	Oxidação e toxicidade.
Efluentes com soda cáustica	Alteração nos corpos d'água
Efluente com tenso ativo	Alteração da biota aquática
Poluentes orgânicos (compostos organoclorados)	
Efluentes com dioxinas e furanos	Contaminação da água
Efluentes com organoclorados (AOX)	
Efluentes industriais	

Fonte: Autora.

Nota: Elaborado com base em Suhr et al (2015) e Souza (2008)

Como principais aspectos e impactos ambientais tem-se a escassez de recursos naturais, gerado pelo aspecto ambiental consumo de água; o impacto de oxidação e toxicidade, que tem como aspecto o efluente de dióxido de cloro; o impacto de alteração nos corpos d'água, que tem como aspectos os efluentes com soda cáustica; o impacto de alteração da biota aquática, que tem como aspectos os efluentes, tais com tenso ativos e poluentes orgânicos; e a contaminação da água gerada por efluentes com dioxinas, furanos, resíduos de cloro ou industriais (SOUZA, 2008; SUHR et al., 2015).

O esgotamento do oxigênio, devido ao crescimento de micro-organismos em meio das águas residuais, impacta no meio ambiente, principalmente em caso de presença de poluentes orgânicos. Os poluentes orgânicos tais como carboidratos, proteínas e ácidos orgânicos podem influenciar nas bactérias aeróbias que consomem Oxigênio Dissolvido (OD), podendo levar a redução da concentração de OD na água. Com essa redução organismos aeróbios como peixes e crustáceos pode morrer por asfixia. O ambiente anaeróbio leva a presença de microrganismos anaeróbios que também decompõem a matéria orgânica, o que pode gerar maus odores. Como as emissões de poluentes da água afetam diretamente os corpos de água regionais, as águas residuais já que quando liberados em corpos de água, os poluentes da água são envolvidos em reações biológicas, químicas e físicas simultâneas. Sendo assim, a concentração de poluentes varia em diferentes partes dos corpos de água com diferentes impactos potenciais (BAI *et al.*, 2018).

No documento informativo sobre Efeitos Econômicos e Mídia Cruzada (*Economic and Cross-Media Effects* - ECME) as principais categorias de impacto ambiental são Potencial de Eutrofização (*Eutrophication Potential* - EP), sendo as emissões de N e P convertidas em  $PO_4$  eq; Potencial de Toxicidade Aquática (*Aquatic Toxicity Potential* - ATP), com emissões de metais pesados e as emissões atmosféricas de Composto Orgânico Volátil Não Metano (COV-NM) do ar e da água; Potencial de Toxicidade Humana (*Human Toxicity Potential* - HTP) (SUHR et al., 2015; STYLES et al., 2009).

Os principais parâmetros para água são Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), substâncias tóxicas como, por exemplo, metais pesados, óleos e graxas e materiais em suspensão (CARVALHO, 2005). A DBO é um tipo de impacto que representa o potencial de esgotamento de oxigênio causado pelo crescimento de micro-organismos (BAI *et al.*, 2018). Demanda Química de Oxigênio (DQO), o nitrogênio e o fosforo, a depender da fonte poluidora, são os principais poluentes da água. São considerados possíveis parâmetros de emissão de poluição hídrica: Volume, sólidos suspensos, DBO, DQO, Nitrogênio Total, Fósforo (P) Total, Toxicidade, Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb), Cromo (Cr),

Arsênio (As), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni). (STYLES *et al.*, 2009). Modelos de qualidade da água (*Water Quality Models - WQM*) são ferramentas eficazes para simular e prever o destino e o comportamento de poluentes em ambientes aquáticos incluindo alguns fatores geológicos, químicos ou físicos relacionados ao ambiente aquático e pode ser usado para identificar os níveis em diferentes partes do ambiente aquático (BAI *et al.*, 2018).

A indústria de celulose gera efluentes contaminados que se não tratados podem trazer impactos significativos ao meio ambiente (BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; GÖNDER; ARAYICI; BARLAS, 2011; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). A reciclagem destes efluentes no processo de fabricação deve garantir a qualidade da água que faz parte da produção e isso é avaliado através de índices (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). Os parâmetros de avaliação da qualidade da água incluem pH, cromo, sólidos suspensos (*Suspended Solids - SS*), sólidos dissolvidos totais (*Total Dissolved Solids - TDS*), condutividade, demanda catiônica, teor de cloretos, carbono orgânico total (*Total Organic Carbon - TOC*), substâncias dissolvidas e coloidais (*Dissolved and Colloidal Substances - DCS*) e a demanda bioquímica de oxigênio (*Biochemical Oxygen Demand - BOD*) (LI *et al.*, 2016).

Os processos de fabricação de celulose e papel são divididos em cinco grupos principais que incluem polpa mecânica, química, químico-mecânica, termomecânica e fabricação de papel (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015), gerando efluentes com características específicas conforme Quadro 16.

Quadro 16 - Características das águas residuais da Indústria de Celulose

Processos	Parâmetros						
	pH	TS (mg/l)	SS (mg/l)	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	N (mg/l)	Cor (Pt-Co)
Polpação Termo Mecânica Agua Bruta (PTM)	4,6	-	127	1541	2713	7	-
Polpação Termo Mecânica (PTM)	4,2	-	810	2800	5600	12	-
Polpação Química termomecânica	6,2	-	500	2500	7300	-	-
Fábrica <i>Kraft</i>	8,2	8260	3620	-	4112	350	4667,5
Fábrica <i>Kraft</i> com branqueamento	10,1	-	37 – 74	128 – 184	1124 – 1738	2	-
Fábrica de Sulfito	2,5	-	-	2000 - 4000	4000 – 8000	-	-
Polpação	10	1810	256	360	-	-	-
Branqueamento	2,5	2285	216	140	-	-	40
Fábrica de pasta branqueada	7,5	-	1133	1566	2572	-	4033
Preparação de madeira	-	1160	600	250	-	-	-
Lavagem de cavacos	-	-	6095	12,000	20,000	86	-
Digestor	11,6	51,583	23,319	13,088	38,588	-	16,6

Fonte: Autora. Adaptado de Pokhrel; Viraraghavan, 2004, p.42

A indústria de celulose possui diversos efluentes a depender dos seus subprocessos. Na digestão o principal resíduo é o licor negro; no subprocesso de lavagem de celulose os resíduos principais são os efluentes industriais e as impurezas e no processo de branqueamento o principal resíduo é o efluente industrial (SOUZA, 2008). O fluxo de emissões de efluentes no processo de celulose e papel pode ser encontrado na Figura 5.

Figura 5 – Aspectos ambientais no processo de celulose e papel



Fonte: Autora. Adaptado de SOUZA, 2008, p.31

Os principais processos que geram águas residuais são os produtores de madeira, lavagem de celulose, branqueamento de papel, digestores e os processos de fabricação de papel (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SOLOMAN et al., 2009). Os efluentes resultantes de máquinas de papel, do processo de pasta e várias operações de limpeza e rastreio também podem conter fibras que, se tratadas podem servir de matéria prima para o papel. Outras águas residuais tais como os efluentes de manuseio de madeira ou sistemas de recuperação de químicos podem conter contaminantes não fibrosos que podem tornar-se problemáticos em sistemas de recuperação de fibra, a menos que sejam utilizados sistemas de limpeza (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). Os principais contaminantes que devem ser evitados são cascas (*bark*), sólidos de cal, borra, grãos (*grits*) e sujeira (ALDA, 2008). Os principais efeitos ambientais gerados envolvem aumento do lodo,

impactos térmicos, geração de espuma, alteração da cor com impacto na morte de zooplânctos e peixes e mudanças no ecossistema terrestre (SOLOMAN *et al.*, 2009).

As águas residuais da indústria de celulose possuem como principais características de contaminação a demanda química de oxigênio - DQO, sólidos suspensos totais, compostos halogenados orgânicos absorvíveis (AOX), e que devem ser removidos ou minimizados através de tratamento nas Estações de Tratamento de Águas Residuárias (ETAR) (SOLOMAN *et al.*, 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015) onde há presença constante de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e fósforo, fundamentais para a remoção de DQO e atividade microbiana (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015).

A síntese das principais categorias identificadas na revisão de literatura sobre efluentes é apresentada no Quadro 17.

Quadro 17 - Quadro síntese sobre efluentes da indústria de papel e celulose

<b>Categorias</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Elementos</b>	<b>Autores</b>
Águas residuais de processos	Processos geradores	Produtores de madeira Lavagem de celulose Branqueamento de celulose Digestão Fabricação do papel	ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SOLOMAN <i>et al.</i> , 2009
	Parâmetros de contaminação	DQO Sólidos suspensos Compostos nitrogenados AOX Compostos de cloro	SOLOMAN <i>et al.</i> , 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015
Qualidade da água	Parâmetros de contaminação	DQO DBO	LI <i>et al.</i> , 2016
Poluição Hídrica	Principais contaminantes	pH Sólidos Suspensos Sólidos Dissolvidos Condutividade Demanda catiônica Cloreto Carbono orgânico total Substâncias dissolvidas e coloidais DBO DQO	ALDA, 2008
		DBO	CARVALHO, 2005;
	Parâmetros de contaminação	Sólidos suspensos	STYLES <i>et al.</i> , 2009
		Substâncias Tóxicas	CARVALHO, 2005
		Volume Nitrogênio Total (N) Fósforo (P) Total Toxicidade	CARVALHO, 2005; STYLES <i>et al.</i> , 2009

<b>Categorias</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Elementos</b>	<b>Autores</b>
Poluição Hídrica	Parâmetros de contaminação	DQO Cascas Cal Grãos ( <i>grits</i> ) Sujeira	STYLES et al., 2009

Fonte: Autora

Os principais parâmetros para análise são DBO (CARVALHO, 2005; STYLES et al., 2009; ALDA, 2008; LI et al., 2016), DQO (STYLES et al., 2009; ALDA, 2008; LI et al., 2016; SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015), AOX (SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015) e sólidos suspensos (CARVALHO, 2005; STYLES et al., 2009; SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). Para uma análise mais estruturada outros parâmetros podem ser considerados individualmente (SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; CARVALHO, 2005; STYLES et al., 2009; LI et al., 2016).

#### 2.2.2.1.1 *Tecnologias Ambientais para redução da poluição hídrica*

As características poluidoras das águas residuais variam a depender dos processos utilizados na produção e da qualidade do papel produzido (BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010) e a remediação de águas residuais depende do impacto ambiental gerado. Sendo assim podem ser utilizados diversos processos de tratamento tais como processos químicos (ALDA, 2008; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008), aeróbicos e anaeróbicos (CHEN et al., 2012; SUHR et al., 2015; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SOUZA, 2008) e mecânico de filtração por membrana (GÖNDER; ARAYICI; BARLAS, 2011; SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008). O tratamento das águas residuais nas indústrias de celulose inclui um tratamento primário, que consiste na sedimentação para remover sólidos em suspensão; e tratamentos secundários e terciários para reduzir o conteúdo orgânico de águas residuais e destruir tóxicos orgânicos e cor (ALDA, 2008; BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010).

Os principais aspectos ambientais e impactos ambientais gerados pelos processos da fábrica de celulose, bem como a remediação são apresentados no Quadro 18.

Quadro 18 - Aspectos e impactos ambientais de efluentes

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Remediação	Processos Associados
Efluente de dióxido de cloro	Oxidação e corrosão	Manutenção	Branqueamento de polpa Kraft (ECF)
	Toxicidade na ingestão	Eliminar contato humano	
Efluentes com soda cáustica	Alteração do pH dos corpos de água	ETE	Digestão
Efluentes industriais	Contaminação da água Contaminação do solo	ETE	Lavagem de madeira Cozimento Branqueamento Secagem Evaporação de licor negro Caldeiras de recuperação Caustificação Forno de cal
Efluente com tenso ativos (detergentes)	Alteração da biota aquática	ETE	Limpeza
Efluentes com compostos organoclorados (AOX)	Contaminação da água	Branqueamento TCF	Branqueamento
Poluentes orgânicos (compostos organoclorados)	Contaminação da fauna marinha e terrestre	ETE	Branqueamento
Efluentes com dioxinas e furanos	Contaminação de corpos d'água	ETE	Caldeira de biomassa Caldeira de recuperação Forno de cal

Fonte: Autora

Nota: Elaborado com base em SuhR et al ( 2015) e Souza (2008)

O tratamento de águas residuais pode ser físico, biológico ou integrado. O tratamento físico tem como objetivo remover sólidos suspensos, partículas coloidais, compostos tóxicos, materiais flutuantes e cores de águas residuais e tem como técnicas sedimentação, ultra filtração, flotação, coagulação, floculação, ozonização, eletrólise e oxidação. O tratamento biológico pode ser classificado em tratamento aeróbio e tratamento anaeróbio, que, apesar de objetivos semelhantes, possuem técnicas de atuação diferentes. Por fim, o sistema integrado é o tratamento de águas residuais que combina outros tipos diferentes com o objetivo de aumentar a sua eficácia como, por exemplo, físico-químico, físico-biológico, biológico aeróbico-biológico anaeróbico e outros (BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SUHR et al., 2015).

Os principais tipos de tratamento de águas residuais podem ser visualizados no Quadro 19.

Quadro 19 - Tipos de tratamento de águas residuais

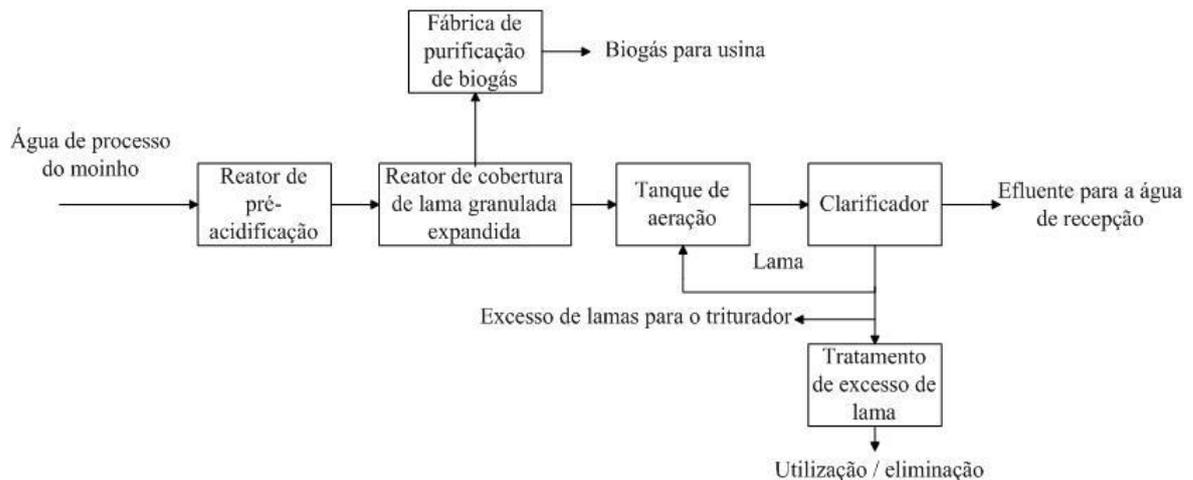
Tipo	Subtipos	Tratamento	
		Técnica	Objetivo
Tradicional	Químico	Coagulação, floculação, decantação e filtração	Polimento adicional do efluente
		Ozonização	Remoção da cor e DQO
		Oxidação	Remoção da cor e DQO

Tipo	Subtipos	Tratamento	
		Técnica	Objetivo
Tradicional	Físico	Floculação	Polimento adicional do efluente
		Flotação	Remoção dos sólidos totais
		Ultra filtração	Remoção dos sólidos totais
		Sedimentação	Remoção de sólidos suspensos e matérias flutuantes
		Eletrólise	Remover cor, sólidos em suspensão e DQO.
Biológico	Tratamento Aeróbio	Lodos Ativadas (AS)	Redução de DBO, COD, AOX e compostos clorados das águas residuais.
Biológico	Tratamento Aeróbio	Lagoas aeradas (BEA)	Remoção do DQO, AOX e compostos clorados com menor quantidade de nutrientes.
		Bacia de estabilização facultativa (BEF)	Remoção DQO e AOX
		Reator em batelada de sequenciamento	Tratamento de águas residuais CTMP Tratamento de esgoto
	Tratamento Anaeróbio	Reator de Leito Fluidizado (RLF)	Remoção de DQO
		Reator 158	Remoção de DQO
		Reator UASB	Remoção de DQO, sulfito, orgânicos clorados.
		Reator de Leito Compactado (RLC)	Tratamento de licor negro fraca pré-tratada de esgoto Redução de DQO e remoção de cor
Filtro anaeróbio de fluxo ascendente (UAF)	Remoção de DBO, COD e AOX de águas residuais de branqueamento.		

Fonte: Autora. Adaptado de Ashrafi; Yerushalmi; Haghighat (2015), p. 148-151

O esquema simplificado de uma estação de tratamento de águas residuais anaeróbio e aeróbio é mostrado na Figura 6.

Figura 6 - Esquema simplificado de uma ETAR integrada (anaeróbico-aeróbio)



Fonte: Autora. Adaptado de Suhr et al., 2015, p. 173

Uma estação de tratamento de águas residuais integrada com processos de tratamento anaeróbio e aeróbio inicia-se recebendo o efluente da fábrica e encaminhando-o para o reator de acidificação e posteriormente segue para o reator e posteriormente para a fábrica de purificação de biogás, que irá gerar biogás para a usina, e para o tanque de aeração. No

tanque, o efluente em tratamento irá passar pelo processo de clarificação que resultara em efluente tratado e lama. Uma parte da lama retornará ao tanque de aeração enquanto que a outra parte será tratada ou encaminhada para o triturador. O efluente tratado poderá ser descartado em curso d'água sem impactos ambientais ou reutilizado em outros processos de acordo com a especificação de sua qualidade (SUHR et al., 2015). Uma das formas de tratamento biológico é através da *Bioaugmentation* (BioA), que consiste na introdução de um grupo de microrganismos naturais ou modificados geneticamente para a descontaminação de solo e água. Esta técnica tem sido utilizada com mais frequência em biorremediação de solo e águas subterrâneas contaminadas e no tratamento de águas residuais, sejam elas industriais ou municipais (CHEN et al., 2012).

O resumo do tratamento de águas residuais é apresentado no Quadro 20.

Quadro 20 - Tratamento de Águas Residuais

<b>Categorias</b>	<b>Elementos</b>	<b>Autores</b>
Tratamento Físico-Mecânico	Floculação Flotação Ultra filtração Sedimentação Eletrólise	BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; GÖNDER; ARAYICI; BARLAS, 2011; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SUHR et al., 2015
Tratamento Químico	Coagulação Ozonização Oxidação	ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; ALDA, 2008
Tratamento Biológico	Lodos ativados Lagoas aeradas Bacia de estabilização facultativa Reator em batelada Reator de leito fluidizado Reator 158 Reator UASB Reator de Leito Compactado Filtro anaeróbio de fluxo ascendente	SUHR et al., 2015; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; CHEN et al., 2012

Fonte: Autora

Apesar da maioria das indústrias de celulose e papel utilizarem o tratamento biológico em seus efluentes, ao final ainda é possível encontrar quantidade significativa de compostos de cor, microrganismos, compostos orgânicos recalcitrantes, sólidos em suspensão e compostos inorgânicos, sendo necessário algumas vezes um tratamento adicional. O tratamento de Nano Filtração (NF), apesar de pouco utilizado, com purificação da água de descarga do processo de lodo ativado, utilizando tecnologia de membranas tem sido uma alternativa considerada inclusive para posterior reutilização da água no processo. Esta tecnologia não é interessante, no entanto, em casos em que há uma quantidade elevada de íons

monovalentes e a incrustação de membranas, levando a queda no fluxo de filtragem. Sendo assim, é necessário para esta tecnologia manter as membranas funcionando para evitar redução em seu desempenho (GÖNDER; ARAYICI; BARLAS, 2011).

As tecnologias ambientais podem servir de apoio para aplicação de técnicas específicas de tratamento. As melhores técnicas disponíveis (BAT) para tratamento de efluentes, determinados pelo IPPC, são apresentadas no Quadro 21.

Quadro 21 – BAT para prevenção de poluição e tratamento de efluentes

BAT		Técnicas
BAT 04	Armazenamento e preparação de madeira na indústria de celulose e papel	Descascamento a seco para evitar contaminação da água
		Evitar a contaminação das cascas e da madeira com areia e pedras
		Pavimentação das áreas de armazenagem de madeira,
		Mínimização do escoamento superficial de água nas áreas de armazenagem de madeiras
BAT 05	Redução do consumo de água doce na indústria de celulose e papel	Coleta de água contaminada e remoção de sólidos
		Monitoramento e otimização do consumo de água
		Avaliação das opções para a recirculação da água
		Equilíbrio dos circuitos de água com os potenciais efeitos negativos
		Reutilização das águas menos contaminadas provenientes da selagem de bombas de vácuo
		Reutilização de água contaminada do processo como água de refrigeração
BAT 19	Águas residuais se emissões para a água no processo de polpa <i>kraft</i>	Reutilização da água dos processos
		Tratamento da água dos processos, para melhorar a sua qualidade, de modo a permitir a recirculação ou reutilização.
		Recirculação parcial da água processual no branqueamento
		Cozimento modificado antes do branqueamento
		Deslignificação com oxigênio antes do branqueamento
		Lavagem fechada e eficiente da pasta crua
		Monitoramento e contenção eficaz dos derrames, incluindo a recuperação de substâncias e energia.
Manutenção na evaporação do licor negro e caldeira de recuperação, para acomodar picos de carga.		
BAT 33	Águas residuais e emissões para a água em processo de polpação de sulfito	Extração e reutilização dos condensados contaminados
		Cozimento prolongado antes do branqueamento
		Deslignificação com oxigênio antes do branqueamento
		Circuito fechado e lavagem eficiente da pasta crua
		Evaporação do efluente da extração alcalina a quente e incineração dos concentrados em caldeiras com soda
		Branqueamento TCF
		Branqueamento em circuito fechado
		Processo de pré-branqueamento com MgO e recirculação do efluente de lavagem da pasta crua.
		Ajuste do pH do licor fraco a montante na evaporação
		Tratamento anaeróbico do condensado da evaporação
		Remoção e recuperação do SO <sub>2</sub> dos condensados dos evaporadores
Monitoramento e contenção eficaz dos derrames, incluindo sistemas de recuperação de produtos químicos e energia.		
BAT 40	Águas residuais e emissões para a água em processo de polpação mecânica	Fluxo em contracorrente das águas dos processos e separação dos circuitos de água.
		Branqueamento de elevada consistência
		Fase de lavagem antes da refinação da pasta mecânica de resinosas com pré-tratamento das estilhas

BAT		Técnicas
BAT 40	Águas residuais e emissões para a água em processo de polpação mecânica	Substituição de NaOH por Ca (OH) <sub>2</sub> ou Mg(OH) <sub>2</sub> no branqueamento com peróxidos
		Recuperação de fibras e de cargas; tratamento da água branca (fabrico de papel)
		Otimização do dimensionamento e da construção dos tanques (indústria do papel).

Fonte: Autora. Adaptado de Suhr et al ( 2015)

As melhores técnicas disponíveis para o tratamento de efluentes de celulose e papel estão presentes em quatro grupos: de forma geral na indústria de celulose e papel com as técnicas presentes nas BAT 04 e 05; no processo de polpa Kraft, com as técnicas presentes na BAT 19; no processo de polpação de sulfito, com a BAT 33 e no processo de polpação mecânica, com BAT 40 (SUHR *et al.*, 2015).

### 2.2.2.2 Poluição Atmosférica

São considerados possíveis parâmetros de emissão de poluição do ar em indústria de celulose: Particulados, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, Carga Orgânica Total, Metano, Amônia, Metais Pesados Totais, CO e CH<sub>4</sub> (STYLES *et al.*, 2009) e os principais parâmetros para o ar são partículas em suspensão, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos (CARVALHO, 2005). Com relação às emissões, a indústria de celulose pode gerar odores e particulados (DESHMUKH et al., 2014; FAUBERT et al., 2016) e gases do efeito estufa (GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013; ASHRAFI; YESHALMI; HAGHIGHAT, 2015). Os odores industriais desagradáveis gerados pelas indústrias de celulose e papel têm sido a causa de incômodos nas comunidades circunvizinhas às fábricas desde a sua implantação. O grau de incômodo associada com as emissões gasosas originárias destas indústrias é devido à presença de Compostos de Enxofre Reduzido (*Reduced Sulfur Compounds* - RSC), Dimetil Sulfeto [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S], Dissulfeto de Dimetil [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>S<sub>2</sub>], Metilmercaptano (CH<sub>3</sub>SH) e sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) (GIRI *et al.*, 2010). Exceto o Dissulfeto de Dimetil, os outros quatro compostos têm pontos de ebulição muito baixos, tornando-os voláteis e de difícil controle (DESHMUKH et al., 2014; FAUBERT et al., 2016). Os principais aspectos e impactos ambientais gerados por emissões atmosféricas são apresentados no Quadro 22.

Quadro 22 - Aspectos e impactos ambientais gerados por emissões da indústria de celulose

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Remediação	Processos Associados
Emissões de composto de enxofre total reduzido (ETR)	Odor Contaminação	Redução do metilmercaptano Sistema de tratamento de gases não condensáveis	Digestão de polpa Kraft Caldeira de recuperação Evaporador Equipamentos de processos

Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Remediação	Processos Associados
Emissão de compostos organoclorados voláteis	Danos à camada de ozônio	Lavadores de gases	Branqueamento
Ruído	Incômodo à comunidade	Encapsulamento de equipamentos	Processo de fabricação
Emissão de Sulfeto	Intoxicação	Precipitadores eletrostáticos Lavadores de gases Filtros Bags	Digestão de polpa Kraft Sistema de tratamento
Emissão de CO <sub>2</sub> fóssil	Alterações climáticas Poluição do ar	Precipitadores eletrostáticos Lavadores de gases Filtros Bags	Branqueamento de papel TCF
Emissão de dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	Odor		Digestão da polpa Kraft Caldeira de recuperação
Emissão de óxidos de nitrogênio (NOX)	Danos à camada de ozônio		Caldeiras a gás
Dioxinas e furanos	Contaminação do ar		Caldeira de biomassa Caldeira de recuperação Forno de cal
Emissão de particulado	Poluição do ar		Caldeira de biomassa Caldeira de recuperação Forno de cal
Emissão de Cloro gasoso	Poluição do ar		Branqueamento de massa

Fonte: Autora

Nota: Elaborado com base em Suhr et al ( 2015) e Souza (2008)

Dentre diversos métodos de medição de gases ambientais tem-se o colorímetro, e cromatografia, que são métodos analíticos mais caros e têm limitações para a análise no local dificultando a sua utilização em nível industrial (DESHMUKH *et al.*, 2014). As características físicas dos compostos de enxofre reduzidos emitidos pelas indústrias de celulose e papel são apresentadas no Quadro 23.

Quadro 23 - Características físicas dos compostos de enxofre reduzidos

Composto	Odor característico	OSHA (ppm)	Limiar de odor (ppm)	Peso molecular (g mol <sup>-1</sup> )	Peso de ebulição (°C)	Dependência do pH	Solubilidade em água (À temperatura ambiente)
Dimetil Sulfeto	Odor de alho	10	0,0025	62,13	36 a 39,3	Sim	Ligeiramente solúvel
Dissulfeto de Dimetil	Odor forte de alho	0,5	0,008 a 0,01	94,2	110	Sim	Insolúvel
Sulfeto de Hidrogênio	Odor de ovo podre	10 - 20	0,13	34,08	-61 a -60,3	Não	2,6%
Metil mercaptana	Odor de alho	0,5 - 10	0,0021	48,11	6,2	Não	2,4%

Fonte: Autora. Adaptado de Deshmukh et al., 2014, p. 402

Além das emissões de particulados, outra questão ambiental importante é a emissão de gases de efeito estufa (GEE). A redução de GEE ajuda a indústria a proteger o meio ambiente e proporcionar benefícios financeiros ao trocar, por exemplo, créditos de CO<sub>2</sub> no mercado.

Apesar do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC*) determinar que o CO<sub>2</sub> gerado a partir de fontes biogênicas não deve ser considerado na estimativa dos gases de efeito estufa (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). Devido a dificuldades em estimar a emissão total de GEE, muitas empresas realizam a estimativa a partir da análise dos compostos nas unidades de tratamento, em separado.

Nas estações de tratamento de águas residuais (ETARs) da indústria de celulose, ocorrem diversos processos de tratamento biológico, químico e mecânico que produzem gases principalmente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). A extensão com que a emissão dos GEE ocorre depende das concentrações de nutrientes nas águas residuais, as concentrações de DBO, a temperatura de operação do reator, do tipo de processos de tratamento empregados e da eficiência de remoção de contaminantes. Também impactam na emissão de GEE as concentrações calculadas de substrato e biomassa, a utilização de cloreto férrico (FeCl<sub>3</sub>) para a redução de DBO e o metano gerado nos processos aeróbicos. O custo operacional, a emissão de GEE e o consumo de energia de um sistema híbrido dependem do tipo de processo de tratamento empregado. Um sistema híbrido comum utilizado para tratamento de águas residuárias é composto por um processo biológico anaeróbico seguido de um processo biológico aeróbio.

A síntese das principais categorias identificadas na revisão de literatura sobre emissões e gases do efeito estufa é apresentada no Quadro 24.

Quadro 24 – Quadro síntese sobre impactos ambientais de emissões e gases do efeito estufa.

<b>Categorias</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Elementos</b>	<b>Autores</b>
Emissões	Contaminação do ar	Emissão de particulado	SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008
		Emissão de CO <sub>2</sub> fóssil	
	Dioxinas e furanos		
	Emissão de cloro gasoso		
	Intoxicação	Emissões de composto de enxofre total reduzido (ETR)	
	Odor	Emissão de Sulfeto	
		Emissões de composto de enxofre total reduzido (ETR)	
		Emissão de dióxido de enxofre (SO <sub>2</sub> )	
	Gases emitidos em ETAR	Dióxido de carbono Metano Óxido nitroso	ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013
Gases de efeito estufa	Danos à camada de ozônio	Emissão de compostos organoclorados voláteis Emissão de óxidos de nitrogênio (NOX)	SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008
	Alterações climáticas	Emissão de CO <sub>2</sub> fóssil	
	Impactos	Concentrações de nutrientes nas águas residuais Concentrações de DBO	ASHRAFI; YERUSHALMI;

<b>Categorias</b>	<b>Subcategorias</b>	<b>Elementos</b>	<b>Autores</b>
Gases de efeito estufa	Impactos	Temperatura de operação do reator	HAGHIGHAT, 2015;
		Tipo de processos de tratamento	GHOSE; CHINGA-
		Eficiência de remoção de contaminantes	CARRASCO, 2013
		Concentrações de substrato e biomassa	
		Utilização de cloreto férrico	
		Metano	

Fonte: Autora

Os sistemas híbridos de tratamento de águas residuais beneficiam-se das vantagens dos processos anaeróbios, como a geração de energia pelo metano produzido e a baixa produção de lodos ao mesmo tempo em que oferecem eficiências de remoção de DBO comparáveis às obtidas em processos aeróbios. A principal fonte de geração de GEE em um sistema híbrido é a queima de biogás (GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) utiliza um método para determinação do potencial poluidor da atmosfera baseado na emissão de material particulado. A determinação da Estimativa de Emissão (E) de uma atividade poluidora deve contemplar a estimativa de emissão de cada fonte que constituir a atividade poluidora utilizando-se para tanto os fatores de emissão publicados pela CETESB, desconsiderando a adição de sistemas de controle na fonte considerada e somando as emissões de cada fonte identificada (CETESB, 1991). A relação entre o potencial poluidor e a estimativa de emissões é apresentada no Quadro 25.

Quadro 25 - Relação entre o potencial poluidor e a estimativa de emissões.

<b>Potencial Poluidor</b>	<b>Estimativa de Emissão (E)</b>
Alto	$E > 0,7$ t/dia
Médio	$0,7 > E < 0,2$ t/dia
Baixo	$E < 0,2$ t/dia

Fonte: CETESB, 1991, p.5.

Outra forma de calcular o Potencial Poluidor da atmosfera é por meio dos processos combustão. Para isso, é feita uma estimativa da emissão para o dióxido de enxofre e a estimativa da emissão para material particulado, ambas em processos de combustão (SJC, 2010). Essas estimativas serão calculadas com base na estimativa da emissão para o dióxido de enxofre, a partir de processos de combustão (kg/d) e na estimativa da emissão para o material particulado, a partir de processos de combustão (kg/d). Após o cálculo, pode-se classificar o potencial de poluição conforme o Quadro 26.

Quadro 26 - Potencial Poluidor da atmosfera em processo de combustão

PCC	Valores
Baixo	$PPC < 0,3$
Médio – Baixo	$0,3 < PPC \leq 1$
Médio	$1 < PPC \leq 3$
Médio – Alto	$3 < PPC \leq 6$
Alto	$PPC > 6$

Fonte: SJC, 2010.

O potencial de poluição do ar pode ser calculado também de acordo a estimativa de diversos índices que combinam elementos meteorológicos. O principal índice utilizado na federação Russa é o Índice Climático de Poluição Atmosférica (*Climatic Air Pollution Index - API*) e é calculado com base em funções matemáticas utilizando dados relativos a velocidades do vento, bem como a sua repetição, inversão do solo, situações estagnadas do clima e quantidade de horas em que névoa se mantem no ano. A combinação destas cinco variáveis permitiu identificar faixas de valores de API, que identificariam a poluição do ar como sendo baixa, moderada, mais alta, alta, muito alta. Esse tipo de classificação permite uma melhor descrição das condições climáticas nos territórios já conhecidos. No entanto um dos entraves para este índice é necessidade de estações meteorológicas de som nas regiões de estudo e a complexidade dos cálculos matemáticos sobre estes índices. Sendo assim, este índice pode não ser adequado para a utilização em novos territórios. Outra técnica utilizada foi desenvolvida com base nas principais desvantagens do API. Inicialmente o índice foi estabelecido como Potencial Meteorológico da Capacidade Dissipativa da Atmosfera (*Meteorological Potential of the Atmosphere – MPA*). Para uma melhor visibilidade do potencial de poluição foi então alterada para MAPP. O potencial meteorológico de poluição atmosférica (*Meteorological Air Pollution Potential – MAPP*) pode ser calculado com base em dados meteorológicos de superfície presentes em qualquer estação meteorológica (SELEGEI; FILONENKO; LENKOVSKAYA, 2015). No Quadro 27, são apresentadas as condições de dissipação de poluentes de acordo com o valor de MAPP.

Quadro 27 - MAPP e Dissipação de Poluentes

MAPP	Dissipação de poluentes
Menor que 0,8	Zona com condições favoráveis à dissipação de poluentes
Entre 0,8 e 1,2	Zona de amortecimento
Entre 1,2 e 2,4	Zona com condições desfavoráveis para a dissipação de poluentes
Maior que 2,4	Zona com condições extremamente desfavoráveis para a dissipação de poluentes

Fonte: Autora. Adaptado de Selegei; Filonenko; Lenkovskaya, 2015, p.562-563

Segundo o documento informativo sobre Efeitos Econômicos e Mídia Cruzada (*Economic and Cross-Media Effects - ECME*) as principais categorias de impacto ambiental

do ar são Potencial de Aquecimento Global (*Global Warming Potential* - GWP), que inclui o CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub>; Potencial de Formação de Ozônio Troposférico (*Tropospheric Ozone Formation Potential* - TOFP), determinado pelas emissões de CO, MNVOC, NOX e CH<sub>4</sub>, expressas em kg; Potencial de Acidificação (*Acidification Potential* - AP) determinado pelas emissões acidificantes de SO<sub>2</sub>, NOX e NH<sub>3</sub>; Potencial de esgotamento do ozônio estratosférico (*Stratospheric Ozone Depletion Potential* - ODP), sendo que nenhuma das substâncias relatadas nos resumos de emissões é de relevância significativa para a destruição do ozônio. (SUHR et al., 2015; STYLES et al., 2009). Outro índice a ser utilizado é o Índice de Emissão BAT (*BAT Emission Index* - BEI) que é calculado a partir da média aritmética das emissões reais da usina dividida pelo limite superior da faixa de emissão BAT para cada parâmetro (SILVO et al., 2005; HUYBRECHTS et al., 2018). A avaliação ambiental também pode ocorrer através do Índice de Emissões Ambientais (*Environmental Emissions Index* - EEI) que permite quantificar a significância ambiental acumulada de várias emissões relatadas por instalações industriais baseados na Prevenção e Controle Integrado da Poluição (*Integrated Pollution Prevention and Control* – IPPC). Esse índice é base para análise de possíveis tendências do desempenho ambiental e eco eficiência (STYLES et al., 2009)

#### 2.2.2.2.1 *Tecnologias Ambientais para redução da poluição atmosférica*

Uma inovação ambiental tecnológica é a utilização de tecnologias livres de cloro elementar (*Elemental Chlorine Free* - ECF) e tecnologias totalmente isentas de cloro (*Totally Chlorine Free* - TCF) para a redução ou eliminação do cloro no processo de branqueamento da produção de celulose. A grande questão é que o cloro utilizado no branqueamento além de ficar no produto é liberado, em parte, nas águas residuais, impactando tanto no produto quanto ao meio ambiente. O ECF atua na fase de processo de pré-branqueamento com dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>), substituindo o cloro elementar, uma vez que o ECF gera a deslignificação com o oxigênio. Já o uso do TCF elimina completamente o cloro elementar e o dióxido de cloro utilizando agentes de branqueamento alternativos tais como peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>). No entanto, apesar do TCF apresentar um desempenho ambiental melhor que o ECF, a qualidade do papel gerado em ambos os processos possui qualidade inferior aos papéis branqueados com cloro. Mesmo assim, a tecnologia TCF ainda é muito utilizada em alguns países da Europa e do Atlântico Norte (POPP; HAFNER; JOHNSTONE, 2011).

As melhores técnicas disponíveis também contemplam técnicas para tratamento das emissões sendo este tópico o maior abordado e são apresentadas no Quadro 28.

Quadro 28 – BATs para tratamento de emissões

BAT		Técnicas
BAT 07	Emissões de odor proveniente do sistema de águas residuais	Dimensionamento dos processos, das existências e dos reservatórios de água, condutas e caixas de modo a evitar tempos de retenção prolongados, zonas mortas ou zonas de mistura insuficiente nas redes de água e unidades conexas.
BAT 07	Emissões de odor proveniente do sistema de águas residuais	Utilizar biocidas, dispersantes ou agentes oxidantes para o controle dos odores e da decomposição biológica. Instalar processos de tratamento internos para reduzir a concentração de matéria orgânica e, conseqüentemente, os possíveis odores na rede Instalar sistemas de efluentes fechados com respiradouros controláveis; em certos casos, utilizar produtos químicos para reduzir a formação de sulfeto de hidrogénio e promover a sua oxidação nos sistemas de efluentes. Evitar o sobre arejamento nos tanques de equalização, garantindo a homogeneização suficiente. Garantir uma capacidade de arejamento e uma homogeneização suficientes nos tanques de arejamento; inspecionar regularmente o sistema de arejamento. Garantir o funcionamento adequado do sistema de coleta de lodo, do clarificador secundário e do sistema de bombeamento da recirculação de lodo Limitar o tempo de retenção de lodos nos tanques de armazenagem, mediante o envio contínuo para as unidades de desidratação. Evitar a armazenagem das águas residuais nas bacias de derrames durante mais tempo do que o necessário; manter as bacias de derrames vazias. Se forem utilizados secadores de lodos, tratar os gases de exaustão da secagem térmica dos lodos por lavagem e/ou biofiltração Evitar a utilização de torres de refrigeração para as águas residuais não tratadas, recorrendo a placas permutadoras de calor.
BAT 08	Monitorando parâmetros-chave do processo	Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a atmosfera Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a água
BAT 09	Monitoramento das emissões para o ar de acordo com os parâmetros	Controle de NOX e SO <sub>2</sub> Poeiras TRS (incluindo H <sub>2</sub> S) NH <sub>3</sub>
BAT 10	Monitoramento das emissões para a água de acordo com os parâmetros	Demanda química de oxigénio (DQO) ou carbono orgânico total (COT) DBO <sub>5</sub> ou DBO <sub>7</sub> Sólidos suspensos totais (SST) Diária Azoto total Fósforo total EDTA, DTPA AOX (em conformidade com a norma EN ISO 9562:2004) Metais relevantes (por exemplo, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni)
BAT 11	Monitoramento das emissões difusas (TRS)	Incineração numa caldeira de recuperação, um forno de cal ou um queimador específico para gases TRS.
BAT 20	Redução das emissões em gases fortes e fracos odoríferos	Sistemas de coleta de gases mal odorosos fortes e fracos Incineração de gases não condensáveis concentrados e diluídos em caldeiras de recuperação, fornos de cal, queimadores específicos de gases não condensáveis (TRS) com lavadores de gases e caldeiras auxiliares. Registo da indisponibilidade do sistema de incineração e de quaisquer emissões resultantes
BAT 21	Emissões de SO <sub>2</sub> e TRS das caldeiras de recuperação	Aumento do teor de sólidos secos do licor negro Combustão otimizada Lavagem de gases
BAT 22	Emissões de NOX das caldeiras de recuperação	Controle computadorizado da combustão Otimização da mistura combustível-ar Sistemas de alimentação de ar distribuído

BAT		Técnicas
BAT 23	Emissões de pó das caldeiras de recuperação	Utilização de precipitador eletrostático (ESP) Combinação de ESP e depurador húmido.
BAT 24	Emissões de SO <sub>2</sub> proveniente de fornos de cal	Seleção dos combustíveis com baixo teor de enxofre Incineração limitada de gases odorosos concentrados no forno de cal Controle do teor de Na <sub>2</sub> S de lodos de cal de alimentação Lavagem alcalina dos gases
BAT 25	Emissões de TRS proveniente de fornos de cal	Controle do excesso de oxigênio Controle do teor de Na <sub>2</sub> S de lodos de cal de alimentação Combinação de um precipitador eletrostático e de um lavador de gases com meio alcalino
BAT 26	Emissões de NOX dos fornos de cal	Otimização e controle da combustão Otimização da mistura combustível-ar Utilização de queimadores com baixo nível de NOX Seleção dos combustíveis ou combustíveis com baixo teor de N
BAT 27	Emissões de poeiras provenientes de fornos de cal	Utilização de precipitadores eletrostáticos ou uma combinação destes com lavadores de gases
BAT 28	Emissões de queimadores para gases com forte odor	Utilizar um lavador de SO <sub>2</sub> com meio alcalino
BAT 29	Emissões de NOX dos queimadores para gases com forte odor	Otimização da queima Incineração por fases
BAT 34	Medidas para reduzir as emissões de SO <sub>2</sub>	Coleta e recuperação de enxofre das correntes concentradas.
BAT 35	Medidas para reduzir as emissões S difusas	Incineração numa caldeira de recuperação Lavadores de gases
BAT 36	Redução das emissões de NOX das caldeiras de recuperação	Otimização das caldeiras de recuperação mediante o controle das condições de combustão Injeção faseada do licor Redução não catalítica seletiva (SNCR)
BAT 37	Redução das emissões de poeiras e de SO <sub>2</sub> das caldeiras de recuperação	Utilização de precipitadores eletrostáticos ou mult ciclones com lavadores de gases Utilização de precipitadores eletrostáticos ou mult ciclones com lavadores de gases a jusante

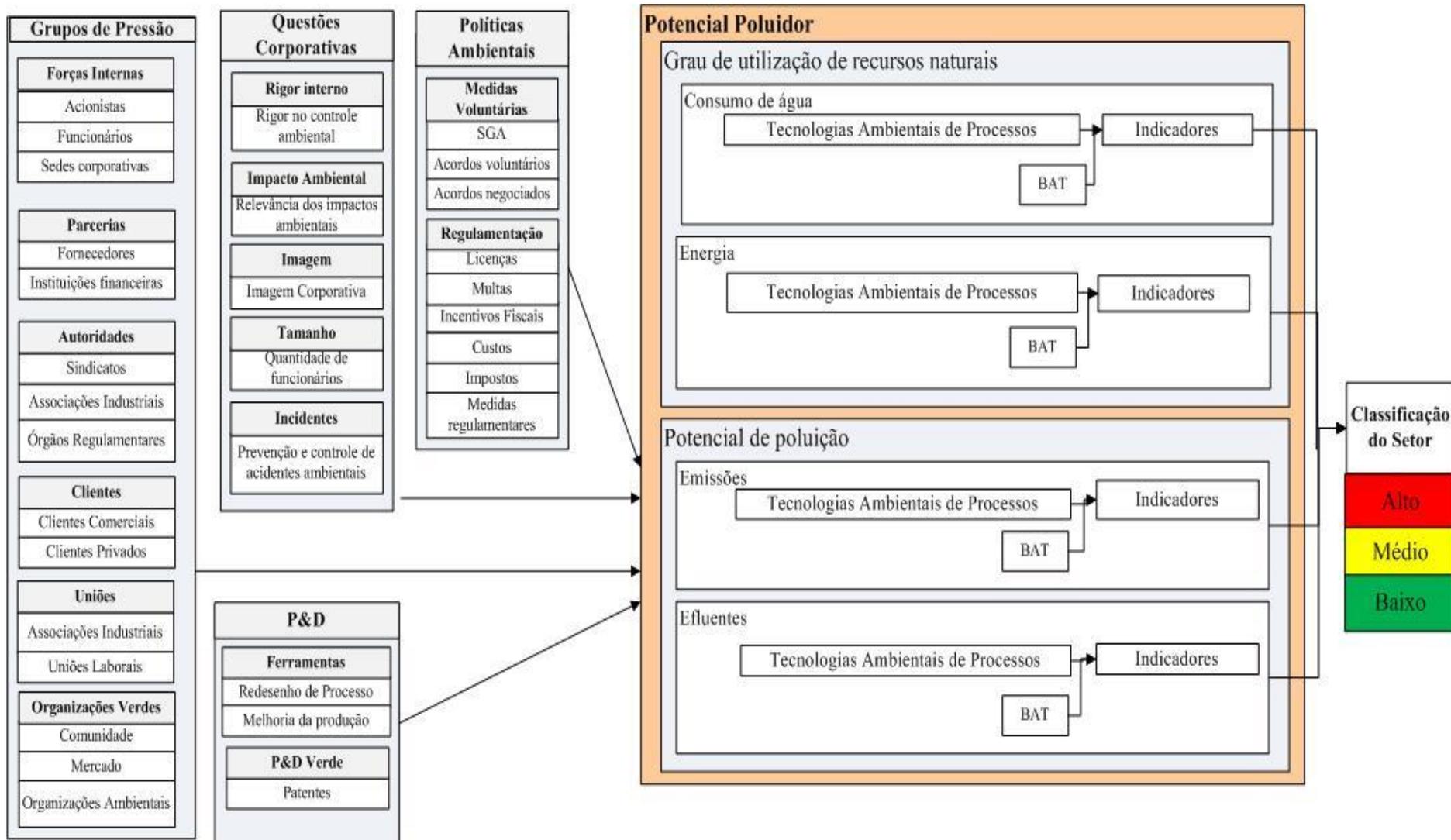
Fonte: Autora. Adaptado de Suhr et al., 2015

As melhores técnicas disponíveis para o tratamento de emissões de celulose e papel estão presentes em três grupos: de forma geral na indústria de celulose e papel com as técnicas presentes nas BAT 07 até 11; no processo de polpa Kraft, com as técnicas presentes nas BAT 20 a 29; no processo de polpação de sulfito, com a BAT 34 até 37.

### 2.3 MODELO DE ANÁLISE

O Modelo de Análise parte do pressuposto que a utilização de inovações ambientais tecnológicas de processos reduz o consumo de recursos naturais e o potencial de poluição das indústrias de celulose podendo resultar em sua saída do setor de atividades potencialmente poluentes. Esse modelo servirá de base para a análise dos dados coletados na indústria de celulose. A Figura 7 apresenta a proposta deste modelo.

Figura 7 - Modelo de Análise



Fonte: Autora

A implantação de tecnologias ambientais de processos, que podem reduzir o potencial poluidor (CONAMA, 1997; BRASIL, 1981; BRASIL, 2000), são influenciadas por determinantes da inovação divididos em quatro categorias: Grupos de pressão (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; LEE; MIN, 2015), Questões corporativas (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; KEMP; PONTOGLIO, 2011), Políticas ambientais (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; RENNINGS et al., 2006; KEMP; PONTOGLIO, 2011; ASHFORD; AYERS; STONE, 1985; NOAILLY; RYFISCH, 2015) e P&D (NOAILLY; RYFISCH, 2015; OECD, 1997; KEMP; ARUNDEL, 1998; CHARTER; CLARK, 2007; KEMP; FOXON, 2007; LEE; MIN, 2015). A categoria Grupos de Pressão tem como participantes as forças internas, representados por acionistas, funcionários e sedes corporativas (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008); as parcerias, com seus fornecedores e instituições financeiras (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008); as autoridades, com seus sindicatos, associações industriais e órgãos regulamentadores (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; LEE; MIN, 2015); os clientes comerciais e privados (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008); as uniões formadas por associações industriais e as uniões laborais (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008) e as organizações verdes influenciadas por comunidade, mercado e as organizações ambientais (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; NOAILLY; RYFISCH, 2015). A categoria de Questões Corporativas engloba a imagem, e em especial a imagem corporativa; os incidentes, com a prevenção e controle de acidentes ambientais; o tamanho, representado pela quantidade de funcionários; o rigor interno, principalmente no controle ambiental e os impactos ambientais e sua relevância (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; KEMP; PONTOGLIO, 2011). A categoria Políticas Ambientais envolve as medidas voluntárias, incluindo SGA, Acordos voluntários e Acordos negociados (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; RENNINGS et al., 2006; KEMP; PONTOGLIO, 2011) e a Regulamentação, que envolve as Licenças, Multas, Incentivos fiscais, Custos, Impostos e Medidas regulamentares (ASHFORD; AYERS; STONE, 1985; FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; RENNINGS et al., 2006; NOAILLY; RYFISCH, 2015). Por fim, a categoria P&D envolve ferramentas tais como Redesenho de processo e Melhoria da produção (LEE; MIN, 2015) e o P&D Verde, relacionada a Patentes (NOAILLY; RYFISCH, 2015; OECD, 1997; KEMP; ARUNDEL, 1998; CHARTER; CLARK, 2007; KEMP; FOXON, 2007)

O potencial poluidor de um setor depende do grau de utilização (GU) dos recursos naturais relacionados ao consumo de água e a energia (SILVO *et al.*, 2005) e de seu potencial

de poluição (PP), causados pela poluição hídrica e atmosférica (SILVO *et al.*, 2005) e é representado através da comparação entre indicadores e parâmetros restritivos sejam eles voluntários (SUHR *et al.*, 2015; SILVO; JOUTTIJÄRVI; MELANEN, 2009) ou legais (GOVERNO DO ESTADO (SP), 1976; CONAMA, 2011a; GOVERNO DO ESTADO (MS), 2012; GOVERNO DO ESTADO (RJ), 1986; RS, 1989; SEMA, 2011; SEMA, 1974; EC, 2001; EC, 2014). Os indicadores são impactados por tecnologias ambientais de processos (SUHR *et al.*, 2015). Além das tecnologias utilizadas nas indústrias de celulose, as técnicas BAT específicas para energia, consumo de água, efluentes e emissões apoiam a redução da poluição da indústria (CEPI, 2015; SUHR *et al.*, 2015; SILVO; JOUTTIJÄRVI; MELANEN, 2009).

A redução do consumo de água nas empresas envolve a economia de água gerada pelo uso múltiplo da água e pela análise de seu consumo (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; LI *et al.*, 2016), pela utilização da água nos processos de celulose (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; LI *et al.*, 2016) e pela avaliação de processos tanto no nível processo quanto no nível empresa (LI *et al.*, 2016). Para isso é necessário que algumas tecnologias sejam aplicadas tais como Sistema de utilização única da água, Sistema de circulação de água, Sistema de cascata e Sistema de reutilização de água (LI *et al.*, 2016; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015) Estas tecnologias podem reduzir alguns indicadores empresariais tais como consumo total de água, Consumo de água fresca, doce ou reciclada por tonelada de polpa ou papel, Consumo de água reciclada por tonelada de polpa, Taxa de circulação de água, Eficiência de recursos hídricos, Valor de utilização das tecnologias de água doce industrial, Valor de utilização das tecnologias de utilização da água, Taxa de circulação de água (LI *et al.*, 2016).

O consumo de energia nas empresas tem como principal impacto a escassez de recursos naturais (SUHR *et al.*, 2015; SOUZA, 2008) e pode ser reduzida a depender da eficiência energética (COOREMANS; SCHONENBERGER, 2019; FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019) e das fontes geradoras de energia, sendo elas renováveis (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010) ou não renováveis (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019) cuja decisão da escolha depende dos avanços tecnológicos (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010), condições geopolíticas (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019), mudanças ambientais (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010), riqueza de recursos naturais (AHMADOV; BORG, 2019) e forças econômicas (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019). As principais tecnologias ambientais para redução do consumo de energia estão

classificadas em Uso de subprodutos de produção para energia (KIVIMAA; KAUTTO, 2010), Novas tecnologias de pré-tratamento de matérias-primas (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016), Tecnologias de polpação emergentes (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016), Tecnologias emergentes de fabricação de papel (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016) e as Novas tecnologias de secagem de papel (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016) impactando em indicadores, tais como energia gerada, comprada e consumida (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; CARVALHO, 2005; OLUNIYI, 2014).

A poluição atmosférica no setor de celulose é caracterizado pelas emissões de gases, odor e ruídos (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013) e pelos gases de efeito estufa (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013). A redução da poluição atmosférica pode decorrer de tecnologias tais como alterações de processos de produção de celulose (POPP; HAFNER; JOHNSTONE, 2011) e estações meteorológicas (SELEGEI; FILONENKO; LENKOVSKAYA, 2015). Essas tecnologias podem alterar os indicadores de Emissões de composto de enxofre total reduzido, Sulfeto, Dioxinas e furanos, metano, óxido nitroso, particulados, CO<sub>2</sub>, SOX, NOX (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013).

A poluição hídrica gerada pelos processos das indústrias do setor de celulose (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SOLOMAN et al., 2009) podem alterar ecossistemas e qualidade da água, tendo como principal fator o lançamento de efluente não tratado (BAI et al., 2018; SUHR et al., 2015; STYLES et al., 2009). As principais tecnologias que impactam nos indicadores da poluição hídrica são tratamentos Físico-mecânicos tais como Floculação, Flutuação, Ultra filtração, Sedimentação, Eletrólise (GÖNDER; ARAYICI; BARLAS, 2011; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; tratamentos químicos tais como Coagulação, Ozonização e Oxidação (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; ALDA, 2008) e tratamentos biológicos tais como Lodos Ativados, Lagoas arejadas, Bacia de estabilização facultativa, Reator em batelada, Reator de leito fluidizado, Reator 158, Reator UASB, Reator de Leito Compactado, Filtro anaeróbio de fluxo ascendente (SUHR et al., 2015; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; CHEN et al., 2012), ETE (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008). Os principais indicadores a serem impactados pelas tecnologias são Volume, Nitrogênio Total (N), Fósforo (P) Total, Toxicidade, Cádmio (Cd), Mercúrio (Hg), Chumbo (Pb), Cromo (Cr), Arsênio (As), Zinco (Zn), Cobre (Cu), Níquel (Ni) (STYLES et al., 2009), Emissão de esgoto por tonelada de polpa ou papel (LI et al., 2016),

DQO (STYLES et al., 2009; LI et al., 2016; SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015), DBO (LI et al., 2016; CARVALHO, 2005), condutividade, sólidos dissolvidos (LI *et al.*, 2016), sólidos suspensos (CARVALHO, 2005; STYLES et al., 2009; SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015), AOX (SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015).

Estas técnicas BAT (SUHR *et al.*, 2015) e demais tecnologias ambientais aplicadas em cada etapa do processo levam a redução dos indicadores de PP (Potencial de Poluição) (BRASIL, 2000; CONAMA, 1997) e GU (Grau de utilização de recursos naturais) (BRASIL, 2000; CONAMA, 1997) podendo alterar sua classificação no setor de alto impacto ambiental.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Este capítulo discorre sobre os procedimentos adotados no trabalho, incluindo a abordagem metodológica, os instrumentos de coleta de dados e a forma de tratamento e análise dos dados.

#### 3.1 ABORDAGEM METODOLÓGICA

O paradigma de pesquisa é o fenomenológico que gera dados qualitativos e utiliza amostras pequenas, criando teorias a partir destes estudos (BÊRNI; FERNANDEZ, 2012). Estudando as práticas inovadoras para mitigação de impactos ambientais significantes foi possível entender não somente as tecnologias aplicadas, mas também as determinantes para a escolha da inovação aplicada.

A lógica de pesquisa utilizada neste estudo foi dedutiva. A abordagem dedutiva parte do geral para o particular e é baseada em uma estrutura conceitual, que é confirmada posteriormente pela observação (BÊRNI; FERNANDEZ, 2012). Na fase inicial, foi realizado um estudo da literatura identificando aspectos da inovação e das tecnologias utilizadas na indústria da celulose para construir categorias teóricas e o instrumento de coleta de dados. No Apêndice K é apresentado o quadro com fator de impacto e quantidades dos periódicos pesquisados.

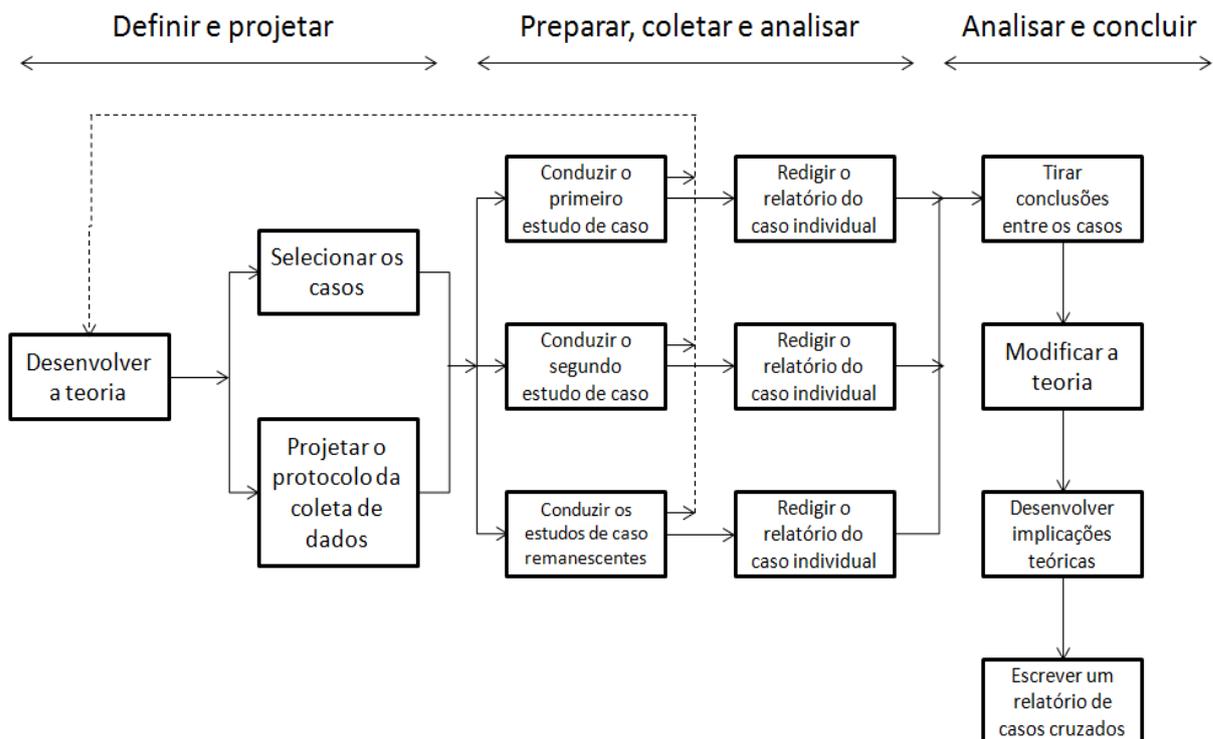
Quanto aos meios, foi realizada uma pesquisa de campo que envolveu visitas em indústrias de celulose para identificar as inovações para mitigação dos impactos ambientais. Quanto aos fins a pesquisa é um estudo teórico empírico uma vez que visa entender o problema existente a partir da literatura estudada (BÊRNI; FERNANDEZ, 2012). Sendo assim, as escolhas de inovação ambiental foram analisadas a partir da identificação das melhores práticas utilizadas nas indústrias de celulose para reduzir impactos mais significativos.

Quanto ao objetivo de pesquisa foi realizado estudo de caso descritivo explicativo. O estudo descritivo tem o propósito de descrever um fenômeno ou elementos pertencentes a ele em um determinado contexto. Neste caso, esta natureza está relacionada com a identificação das principais tecnologias e inovação utilizadas nas indústrias com relação à mitigação dos impactos ambientais mais significativos. Já o estudo explicativo visa entender as causas dos fenômenos e as variáveis que podem influenciá-las. Sendo assim, entender as escolhas das

inovações ambientais para mitigar os impactos gerados pela indústria de celulose (YIN, 2015).

Este estudo é classificado como um estudo de casos múltiplos. O estudo de caso busca entender a dinâmica estudada em um ambiente podendo gerar teorias específicas (EISENHARDT, 1989), já que é uma investigação empírica e tem como característica a análise de evidências, com base em proposições teóricas que orientarão na coleta de dados (YIN, 2015). Os dados de pesquisa em um estudo de casos múltiplos podem ser divergentes, convergentes ou complementares (YIN, 2015). Sendo assim, a análise dos dados utilizando a síntese cruzada de dados permitiram não somente entender o panorama do setor de celulose com relação à aplicação das tecnologias ambientais no seu processo, mas também identificar as condições em que há diferenças na implantação destas tecnologias. Uma vez realizado este entendimento prévio, foi avaliado o impacto da inovação ambiental no potencial de poluição das empresas. A Figura 8 explica as etapas para o estudo de caso.

Figura 8 - Método de estudo de caso



Fonte: Autora. Adaptado de YIN, 2015, p. 82

Na primeira etapa, o desenvolvimento da teoria leva a seleção dos casos e ao projeto do protocolo da coleta de dados. Na segunda etapa são conduzidos os estudos de caso com os respectivos relatórios. Por fim, na terceira etapa são tiradas as conclusões entre os casos há o

desenvolvimento das implicações teóricas e do relatório de casos cruzados (YIN, 2015). Neste estudo, após o desenvolvimento das categorias teóricas, de inovação ambiental e impactos ambientais causados pela indústria da celulose, foram selecionados os casos e determinados protocolos para coleta de dados. Na segunda etapa, foram coletados os dados por meio de entrevista exploratória, entrevista semiestruturada, consulta de dados públicos e internet, acesso a dados internos e observação realizada em visita para buscar padrões de aplicação das tecnologias. Por fim, foram analisados os dados dos casos, agrupados, gerando conclusões a respeito da utilização das inovações ambientais para redução do consumo de recursos naturais e do potencial poluidor.

### 3.2 AMOSTRA TEÓRICA

A amostra teórica é composta de unidades de análise sobre a qual os dados do estudo são coletados (YIN, 2015). A validade do estudo requer a seleção de pelo menos quatro casos com base nos quais serão definidos padrões (EISENHARDT, 1989) que devem ser escolhidos com o objetivo de prever resultados semelhantes ou contrastantes (YIN, 2015). Desta forma, foi selecionada amostra com base nos critérios a seguir.

#### 3.2.1 Critérios para escolha da amostra teórica

Os critérios de escolha da amostra teórica foram determinados pelo potencial poluidor do setor, volume de produção e a existência de relatórios de sustentabilidade.

O setor florestal foi selecionado pelo fato de estar classificado como um dos setores potencialmente poluentes (BRASIL, 2000) e é o que mais tem crescido na última década no Brasil (IBA, 2016b) podendo assim, aumentar o potencial de impacto no meio ambiente (BRASIL, 2000). Além disso, a fabricação de celulose é a atividade mais poluidora do setor de papel e celulose (GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013).

Considerando que as indústrias brasileiras de celulose têm exportado em torno de 66% da sua produção (IBA, 2016c), foram escolhidas para o estudo de casos múltiplos, empresas com grande capacidade de produção e, conseqüentemente, de exportação. Essa seleção envolveu as empresas que exportam mais de 100 milhões de dólares/ano de acordo com o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços: Eldorado Brasil Celulose S/A, Suzano Papel e Celulose S.A., CMPC Celulose Riograndense Ltda., Celulose Nipo Brasileira S.A.

Cenibra, Fábria Celulose S/A, Veracel Celulose S.A, Klabin S.A., Jari Celulose, Papel e Embalagens S/A e Bahia Specialty Cellulose S/A (MDIC, 2016).

Para um melhor entendimento dos padrões de redução do consumo de recursos naturais e redução do potencial poluidor foram analisados indicadores dos relatórios de sustentabilidade ou da GRI (*Global Reporting Initiative*). Esses relatórios permitem o acesso a informações ambientais das empresas tais como consumo e aproveitamento de materiais, energia, consumo de água, biodiversidade, emissões, efluentes, resíduos, avaliação ambiental de fornecedores e conformidade com a legislação (GRI, 2007). As empresas selecionadas estão apresentadas no Quadro 29.

Quadro 29 - Empresas para estudo de caso Empresas

<b>Empresa</b>	<b>Produto</b>	<b>Relatório de Sustentabilidade</b>	<b>Seleção</b>
Eldorado Brasil Celulose S/A	Celulose para Papel	X	X
Suzano Papel E Celulose S.A.	Celulose para Papel	X	X
CMPC Celulose Riograndense Ltda.	Celulose para Papel	X	X
Celulose Nipo Brasileira S A Cenibra	Celulose para Papel	X	X
Fábria Celulose S/A	Celulose para Papel	X	X
Veracel Celulose S.A.	Celulose para Papel	X	X
Klabin S.A.	Celulose para Papel	X	X
Jari Celulose, Papel E Embalagens S/A	Celulose para Papel	-	-
Bahia Specialty Cellulose AS	Celulose solúvel	X	-

Fonte: Autora

Para o estudo foram então selecionadas as empresas Eldorado Brasil Celulose S/A, Suzano Papel E Celulose S.A., CMPC Celulose Riograndense Ltda, Celulose Nipo Brasileira S.A., Cenibra, Fábria Celulose S/A, Veracel Celulose S.A, Klabin S.A. A empresa Jari Celulose não foi escolhida por não apresentar relatório de sustentabilidade publicado enquanto que a empresa Bahia Specialty Cellulose S.A. não foi selecionada por produzir celulose solúvel.

O estudo de casos múltiplos possui evidências mais consolidadas e permitem, a partir da escolha dos casos, produzir resultados similares ou contrastantes. Enquanto a utilização de dois a três casos levam a replicações literais, a utilização de quatro a seis casos pode envolver a análise de diferentes padrões de replicações teóricas e a utilização de até dez casos permite um forte apoio ao conjunto de proposições (EISENHARDT, 1989; YIN, 2015). Das sete empresas escolhidas, quatro empresas (a CMPC, a Eldorado Brasil, a Veracel e a Cenibra) possuem uma única planta no Brasil. Nas demais empresas, que possuem mais de uma unidade, o critério de seleção das indústrias partiu das mais recentes e de outras unidades mais

antigas para comparação, com o objetivo de identificar as possíveis evoluções da tecnologia. As empresas visitadas entre os anos de 2017 e 2018 são apresentadas no Quadro 30.

Quadro 30 - Unidades Visitadas

<b>Indústria</b>	<b>Unidade</b>	<b>Ano de instalação</b>	<b>Data da visita</b>
CMPC	Guaíba – RS	1972	25/04/2017
Klabin	Otacílio Costa – SC	1969	27/04/2017
Eldorado Brasil	Três Lagoas – MS	2012	10/05/2017
Fibria	Três lagoas – MS	2009	11/05/2017
Veracel	Eunápolis – BA	2005	15/05/2017
Klabin (Projeto Puma)	Telêmaco Borba – PR	2016	23/05/2017
Suzano	Imperatriz – MA	2014	30/05/2017
Cenibra	Ipatinga – MG	1973	12/06/2017
Suzano	Suzano – SP	1955	10/01/2018
Fibria	Jacareí – SP	1959	07/03/2018

Fonte: Autora

Após a análise, devido à escassez de dados fornecidos na entrevista e nos relatórios de sustentabilidade, foram excluídas do estudo as seguintes unidades: Cenibra e Klabin (Otacílio Costa – SC).

A CMPC Celulose Riograndense é uma fábrica datada originalmente de 1972, situada em Guaíba no Rio Grande do Sul. Pertence ao grupo chileno CMPC que adquiriu a unidade da Aracruz Celulose. Possui atualmente duas linhas de produção produzindo em torno de 1,75 milhão de toneladas de celulose por ano (CMPC, 2018).

A empresa Eldorado Brasil é uma indústria Brasileira datada de 2012, situada em Três Lagoas (Mato Grosso do Sul). Possui capacidade de produção de 1,5 milhão de toneladas de celulose por ano, apesar de, em 2017, ter atingido a faixa de 1,7 milhão de toneladas (ELDORADO, 2018)

A Fíbria é uma indústria de origem brasileira. Possui três fábricas no Brasil. A unidade Aracruz (BA) começou suas operações em 1978 e possui três linhas de fibra com capacidade anual de 2,3 milhões de toneladas de celulose; a unidade Jacareí (SP) foi adquirida em 1992 tendo sua capacidade produtiva ampliada em 2003 possuindo capacidade de produção de 1,1 milhão de toneladas de celulose por ano e destinando 91% desta produção ao mercado externo; unidade Três Lagoas (MS) produz 1,3 milhões de toneladas por ano, inaugurada em 2009 (FIBRIA, 2017).

A Klabin é uma empresa de origem brasileira, possui 17 unidades industriais no Brasil. A unidade pesquisada foi a PUMA, no Paraná, inaugurada em 2016 e com capacidade de produção de 1,5 milhão de tonelada de celulose por ano. É a única unidade capaz de produzir celulose fibra longa, celulose fibra curta e celulose Fluff (KLABIN, 2018)

A Suzano é uma empresa nacional com quatro unidades produtivas. A unidade Imperatriz, inaugurada em 2014, está situada no Maranhão e tem a capacidade de produção de 1,65 milhão de toneladas de celulose por ano. A unidade Suzano, situada em São Paulo, adquirida em 1955, tem a capacidade de produção de 95 mil toneladas de celulose por ano (SUZANO, 2019).

A Veracel é uma empresa inaugurada em 2005, situada em Eunápolis (BA), sendo cinquenta por cento (50%) de capital internacional e cinquenta por cento (50%) de capital nacional. Produz mais de 1 milhão de toneladas de celulose por ano (VERACEL, 2019).

Sendo assim, as unidades visitadas foram agrupadas por data de instalação sendo o primeiro grupo composto pelas empresas com instalação antes do ano 2000: CMPC, Suzano (Unidade Suzano – SP) e Fibria (Unidade Jacareí). O segundo grupo foi composto por unidades cujas instalações ocorreram após o ano 2000: Veracel, Eldorado, Suzano (Unidade Imperatriz), Fibria (Unidade Três Lagoas) e Klabin (Unidade Puma). Os grupos de comparação estão definidos no Quadro 31.

Quadro 31 - Grupos de Análise

<b>Grupos</b>	<b>Grupo 1 (Antes 2000)</b>	<b>Grupo 2 (Após 2000)</b>
<b>Empresas</b>	CMPC	Eldorado
	Suzano (Unidade Suzano)	Fíbria (Unidade Três Lagoas)
	Fíbria (Jacareí)	Klabin (Unidade Puma)
		Suzano (Unidade Imperatriz)
		Veracel

Fonte: Autora

O objetivo da comparação dos grupos foi verificar se as unidades adaptadas com tecnologias ambientais podem reduzir potencial poluidor da mesma forma que as plantas mais recentes.

### 3.3 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

Um dos princípios da coleta é a utilização de múltiplas fontes de evidências que garantem validade e confiabilidade da pesquisa e envolve diversas fontes de informação (YIN, 2015). Neste estudo foram utilizadas as seguintes fontes de evidências: documentos e registros em arquivos, entrevistas e observação, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Convergência de evidências



Fonte: Autora. Adaptado de YIN, 2015, p.

A pesquisa documental inclui documentos privados e públicos das empresas. Como documentos privados podem ser analisados os registros em arquivos tais como informações sobre projetos de inovação, práticas inovadoras, relatórios de análise de desempenho, gráficos de indicadores ambientais. Além dos documentos planejados, outros registros organizacionais podem ser considerados e solicitados no momento da entrevista (YIN, 2015). Na pesquisa os documentos públicos utilizados foram os relatórios de sustentabilidade e outros documentos sobre a área ambiental, disponibilizados para consulta pública das empresas, tais como sites, multas, processos judiciais e relatórios de sustentabilidade. Também foram coletados dados no Congresso Internacional da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP).

O levantamento inicial dos dados envolveu a pesquisa de relatórios de sustentabilidade e nos sites das empresas pesquisadas. Nesta primeira análise foram identificados aspectos e impactos ambientais, tecnologias, inovações, indicadores e informações específicas declaradas pelas empresas. A análise do relatório GRI na versão 4 (G4), do ano de 2015, teve como foco apenas os indicadores ambientais das empresas pesquisadas. A escolha dos relatórios deste ano se deu em função da quantidade e qualidade dos dados apresentados se comparados a relatórios mais recentes. Os principais indicadores relacionados ao meio ambiente no GRI são apresentados no APÊNDICE A. Com base no referencial teórico foram realizadas análise dos indicadores das categorias Materiais, Energia, Água, Emissões, Efluentes, produtos e serviços, conformidade, geral, mecanismos de queixas e reclamações. As informações foram complementadas com entrevista e visita nas indústrias escolhidas para o estudo de caso.

A entrevista é a forma de coletar dados em que um participante do estudo de caso fornece informações verbais guiadas por um roteiro (YIN, 2015). Neste estudo foram realizadas entrevistas exploratórias e semiestruturadas com o objetivo coletar informações diretamente das pessoas envolvidas com a área ambiental. Para as entrevistas semiestruturadas foi utilizado um guia com as informações gerais da entrevista, apresentado

no apêndice I e um roteiro para a entrevista exploratória, no apêndice L, e entrevista semiestruturada apresentado no APÊNDICE M. Durante cada entrevista foi solicitado à empresa a assinatura do formulário de visitas, presente no apêndice H, e do formulário de consentimento, presente no apêndice G. Durante a execução das entrevistas foram sendo realizadas mudanças no instrumento de coleta de dados de maneira que houvesse uma maior sistematização das informações. Inicialmente, para cada categoria específica foram realizadas perguntas envolvendo dados específicos, indicadores e melhores práticas. Ao longo das entrevistas algumas perguntas foram retiradas do questionário e foram solicitadas por e-mail. O perfil básico dos entrevistados foi o de profissionais da área ambiental, engenharia e área de utilidades responsáveis pela manutenção da estrutura industrial e ambiental. Os cargos, tempos de entrevista são apresentados no Quadro 32.

Quadro 32 - Perfil e Tempo das Entrevistas

<b>Empresa</b>	<b>Cargos</b>	<b>Tempo de entrevista</b>
EMP1	Gerente de Qualidade e Meio Ambiente	3 h e 30 min
EMP2	Gerente de Meio Ambiente Industrial	3 hs
EMP3	Especialista de Meio Ambiente	3 hs
EMP4	Coordenador de Controle Ambiental	4 hs e 20 min
EMP5	Engenheiros Ambientais Coordenador de meio ambiente	6 hs
EMP6	Gerente de Controle técnico Coordenador de Licenciamento Especialista de Controle Técnico Analista de Meio Ambiente Coordenador de Utilidades	4 h
EMP7	Especialista de Meio Ambiente Engenheiro	5 h
EMP8	Gerente de Meio Ambiente Analista de sustentabilidade	3 hs e 30 min

Fonte: Autora

As observações são fontes de evidências para o estudo de caso (YIN, 2015) e foram realizadas nas indústrias pesquisadas. Neste caso o pesquisador pode ter a oportunidade de presenciar dados poucos comuns que muitas vezes não são descritos na documentação estudada (YIN, 2015). Também é possível que, na prática, algumas dúvidas não dirimidas nos documentos ou nas entrevistas possam ser esclarecidas e exemplificadas pelos envolvidos na aplicação prática industrial (YIN, 2015). Em visita às instalações da indústria de celulose, foi realizada observação não participante semiestruturada de parte do processo produtivo evidenciando as tecnologias inovadoras para a mitigação dos impactos ambientais. O protocolo de observação é apresentado no apêndice J.

A coleta de dados qualitativos para o estudo de caso depende de diversas questões como a disponibilidade da empresa e do entrevistado, interesse em contribuir com dados internos da empresa. Sendo assim, para garantir que estas condições foram consideradas, foi necessário um procedimento de coleta de dados (YIN, 2015), que é apresentado no Quadro 33, sendo que as etapas 3, 4 e 5 foram realizadas simultaneamente nas mesmas visitas.

Quadro 33 - Etapas da coleta de dados

<b>Etapas da coleta de dados</b>	<b>Procedimento</b>	<b>Fonte</b>
Etapa 1: Pesquisa documental	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Coletar informações sobre a planilha de aspectos e impactos ambientais significativos</li> <li>b) Identificar os objetivos e metas ambientais para o processo produtivo</li> <li>c) Verificar procedimentos Operacionais sobre meio ambiente (Identificar tecnologias ambientais)</li> <li>d) Verificar procedimento Resposta a Emergência (Identificar tecnologias ambientais)</li> <li>e) Coletar informações sobre as tecnologias comumente utilizadas</li> </ul>	Site da empresa GRI ISE Sites jurídicos
Etapa 2: Entrevista Exploratória	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Coletar informações sobre a planilha de aspectos e impactos ambientais significativos</li> <li>b) Identificar os objetivos e metas ambientais para o processo produtivo</li> <li>c) Verificar procedimentos Operacionais sobre meio ambiente (Identificar tecnologias ambientais)</li> <li>d) Verificar procedimento Resposta a Emergência (Identificar tecnologias ambientais)</li> <li>e) Coletar informações sobre as tecnologias comumente utilizadas</li> </ul>	Entrevista com o Gestor de Meio Ambiente
Etapa 3: Entrevista Semiestruturada	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Coletar informações sobre indicadores de inovação</li> <li>b) Identificar as mudanças de processos que geram melhorias no desempenho ambiental</li> <li>c) Identificar as melhorias ambientais com a implantação das novas tecnologias</li> </ul>	Entrevistar o Gestor Ambiental Gestor de Inovação (P&D) Gestor de Área
Etapa 4: Registro em arquivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>a) Identificar projetos de inovação</li> <li>b) Identificar práticas Inovadoras</li> <li>c) Coletar relatórios de análise de desempenho</li> <li>d) Coletar gráficos de indicadores ambientais</li> </ul>	Entrevistar o Gestor Ambiental Gestor de Inovação (P&D) Gestor de Área
Etapa 5: Observação	Realizar visita técnica para consolidar informações	Planta da unidade de análise

Fonte: Autora

Na revisão de literatura foram criados Quadros Sínteses a partir dos quais foram tiradas as categorias teóricas e identificados os instrumentos de coleta de dados mais adequados para a coleta de dados. As categorias e subcategorias são apresentadas no Quadro 34 junto com as fontes de dados representadas por suas siglas: documentação (Doc), entrevista exploratória (EntE), entrevista semiestruturada (EntS), observação (Obs) e registros em arquivos (RA).

Quadro 34 - Categorias teóricas e instrumentos de coleta de dados

Categorias	Subcategorias	Elementos	Fontes de Dados				
			Doc	EntE	EntS	Obs	RA
Determinantes da inovação ambiental	Política ambiental	Motivações para a prática ambiental			X		X
		Atuação da empresa nas questões ambientais	X	X	X		
		Investimento realizado atualmente para cumprir a política ambiental			X		X
		Medidas voluntárias tais como SGA e outras certificações	X	X			
	P&D Verde	Atuação da empresa no desenvolvimento da inovação			X		X
		Melhorias na produção com foco na inovação		X	X		X
		Alterações de processos para implantação da inovação			X		X
		Metas relacionadas à inovação			X		X
		Parceria com órgãos de fomento ou instituições de pesquisa em inovação			X		X
		Programa de pesquisa de inovação			X		X
		Subsídios em P&D			X		X
		Gasto em P&D e inovação ambiental na empresa			X		X
		Fontes para aprendizado sobre tecnologias ambientais (produtos e resultados)			X		X
		Tecnologia ambiental patenteada	X		X		X
	Pressões (Internas e externas)	Fatores que levaram a inovação		X	X		
		Queixas formais relacionadas a impactos ambientais	X	X	X	X	
		Inovações realizadas a partir das pressões de órgãos reguladores e clientes			X		X
		Inovações realizadas a partir das pressões de acionistas			X		X
	Regulamentação	Regulamentações nacionais e acordos internacionais que influenciaram na implantação de inovação	X	X	X		
		Multas aplicadas por descumprimento de legislação			X		X
Dimensões da inovação	Projeto	Etapas de projeto para o desenvolvimento da inovação			X		X
Inovação ambiental tecnológica de processo	Tecnologias Limpas	Inovações limpas e produtos limpos no processo produtivo (para redução de resíduos)			X	X	
		Inovações aplicadas na redução de riscos			X	X	
		Tecnologias BAT aplicadas na empresa como tecnologia limpa			X	X	
	Tecnologias <i>end-of-pipe</i>	Inovações utilizadas para reciclagem		X	X	X	
		Inovações aplicadas na redução de riscos			X	X	
		Tecnologia para prevenir ou restringir a liberação de poluentes		X	X	X	
		Tecnologias BAT aplicadas na sua empresa como tecnologia <i>end of pipe</i>			X	X	
Recursos hídricos e efluentes	Contaminação	Contaminantes			X		X
		Características de contaminação			X		X
	Tratamentos	Químico			X	X	X
		Físico-mecânico			X	X	X
		Biológico			X	X	X
	Impactos ambientais	Escassez de recursos naturais	X	X			
		Explosão, oxidação e toxicidade.	X	X			
		Alteração nos corpos d'água	X	X			
		Alteração da biota aquática	X	X			
Contaminação da água		X	X				
Emissões, energia e gases do efeito estufa	Impactos ambientais	Escassez de recursos naturais	X	X			
		Poluição e contaminação do ar	X	X		X	
		Intoxicação	X	X			
		Odor	X	X		X	

Categorias	Subcategorias	Elementos	Fontes de Dados				
			Doc	EntE	EntS	Obs	RA
Emissões, energia e gases do efeito estufa	Impactos ambientais	Danos à camada de ozônio	x	x			
		Alterações climáticas	x	x			
		Incômodo à comunidade	x	x			
	Gases do efeito estufa	Concentrações de nutrientes nas águas residuárias			x		x
		Concentrações de DBO			x		x
		Temperatura de operação do reator			x		x
		Tipo de processos de tratamento			x		x
		Eficiência de remoção de contaminantes			x		x
		Concentrações de substrato e biomassa			x		x
		Utilização de cloreto férrico			x		x
		Metano			x		x

Fonte: Autora

Após a coleta, os dados foram preparados para a análise realizando a tabulação das pesquisas, a transcrição das gravações, a organização das anotações e a leitura completa. A codificação dos dados, manualmente ou por recursos computacionais, permitiu atribuir um significado às informações organizando-as de acordo com critérios que permitirão um relacionamento e interpretação dos dados gerando conclusões (CRESWELL, 2010).

### 3.4 ANÁLISE E TRATAMENTO DOS DADOS

As categorias teóricas iniciais de análise de dados foram estabelecidas a partir do referencial teórico e são apresentadas no Quadro 35.

Quadro 35 - Categorias e objetivos da análise de dados

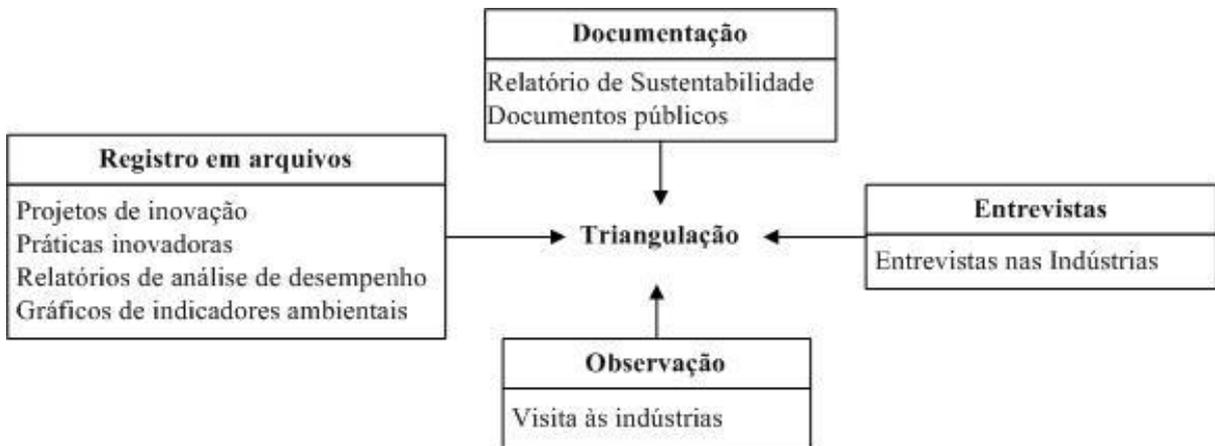
Categorias	Objetivos da análise
Política ambiental	- Identificar a atuação e motivações para as questões ambientais - Investimento associado - Identificar medidas voluntárias além do SGA
P&D Verde	- Verificar a participação efetiva do departamento de P&D nas empresas estudadas, bem como seus resultados. - Identificar alterações e melhorias de processos para implantação de inovação - Identificar parcerias na pesquisa de inovação - Identificar subsídios e recursos para pesquisa - Identificar fontes de aprendizado sobre inovação
Projeto de inovação	- Identificar procedimento e etapas de projetos de inovação ambiental na empresa
Pressões (Internas e externas)	- Identificar influência na pesquisa e implantação de inovação ambiental
Regulamentação	- Identificar questões regulamentares que impulsionam a inovação
Consumo de recursos hídricos	- Identificar as principais características de consumo
Tratamentos de efluentes	- Identificar as principais alterações da qualidade da água - Entender a aplicação dos tratamentos de efluentes - Identificar as inovações utilizadas no tratamento de efluentes - Identificar as tecnologias para redução, tratamento e descarte de água e indicadores relacionados.
Impactos ambientais de energia	- Identificar percentual de utilização de queima como combustível - Identificar os indicadores relacionados

<b>Categorias</b>	<b>Objetivos da análise</b>
Impactos ambientais de emissões	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar as tecnologias para redução, tratamento e descarte de emissões</li> <li>- Identificar parâmetros para análise das emissões de gases de efeito estufa</li> <li>- Identificar os indicadores relacionados</li> <li>- Identificar os processos que geram os impactantes dos gases do efeito estufa-</li> <li>- Identificar dispositivos e padrões de medição e monitoramento destes gases</li> </ul>

Fonte: Autora

A análise e tratamento de dados foram realizados por meio da triangulação de dados e da análise de conteúdo. Em um estudo de caso não é recomendado apenas uma, e sim a realização de diversas fontes de evidência para uma análise conjunta posterior. Esse método possibilita uma avaliação única do fenômeno considerando diversas fontes de dados e reforçando a validade do constructo do estudo de caso. A triangulação de dados pode ser de quatro tipos: a triangulação de dados, que considera fontes de dados diferentes; a triangulação do investigador, que envolve avaliadores diferentes; a triangulação da teoria, que permite perspectivas diferentes para um mesmo conjunto de dados; e a triangulação de dados, que envolve a utilização de diferentes métodos na pesquisa (YIN, 2015). Neste estudo foi realizada a triangulação de dados, conforme apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Triangulação de dados da pesquisa



Fonte: Autora

Os dados coletados foram analisados em conjunto para entender como as inovações ambientais estão sendo utilizadas nas indústrias de celulose. Neste caso foi aplicada a triangulação dos dados da pesquisa de documentação, entrevistas com os gestores das empresas pesquisadas, observações do pesquisador, registros em arquivos fornecidos pelas empresas e entrevista com a associação do setor.

Neste estudo também foi realizada análise de conteúdo. A análise de conteúdo tem aumentado na pesquisa social devido à necessidade de tratar dados coletados de forma

padronizada, principalmente dados coletados em profundidade (QUIVY; CAMPENHOUDT, 2008), mantendo os critérios de confiabilidade e validade da pesquisa qualitativa (CRESWELL, 2010). Na pesquisa qualitativa, a análise de conteúdo é aplicada a um pequeno número de informações complexas detalhadamente, buscando características comuns ou inter-relações entre eles. Para isso é realizado o processo de categorização que visa classificar as informações de acordo com categorias e reagrupa-las para análise. O critério de categorias (BARDIN, 2011) escolhido foi de acordo com um sentido específico. Neste estudo as categorias teóricas de análises temáticas identificadas na revisão da literatura contribuíram para classificar e codificar os dados das entrevistas, observação e documentos. Esta análise é utilizada quando a coleta de dados envolve entrevistas semiestruturadas e documentos (QUIVY; CAMPENHOUDT, 2008). A análise pode ser horizontal ou vertical. A análise horizontal deu-se através da elaboração de categorias por repetição da frequência dos temas possibilitando síntese dos dados, semelhanças e regularidades. Sendo assim, pode-se dividir o texto em temas principais da entrevista, definir características associadas ao tema central da pesquisa, analisar a estrutura sequencial da entrevista, analisar as oposições encontradas. Como complemento, foi utilizada a fase de decifração estrutural e transversalidade temática. Na primeira fase, cada entrevista deve ser analisada individualmente entendendo a estrutura de discurso do entrevistado. A fase de transversalidade temática consiste em retirar as partes importantes do texto, questionando-os com perguntas adicionais. Por fim, é realizada a análise das informações organizadas (BARDIN, 2011).

O objetivo da comparação dos grupos das empresas foi verificar se as unidades adaptadas com tecnologias ambientais podem reduzir potencial poluidor da mesma forma que as plantas mais recentes. Sendo assim, as empresas foram agrupadas de acordo com as datas de implantação da unidade fabril possibilitando o cálculo das medias de indicadores e agrupamento dos resultados associados. Uma vez que os dados foram agrupados, foram utilizadas técnicas analíticas para o estudo de casos múltiplos. São cinco as principais técnicas: combinação de padrão, construção da explicação, análise de séries temporais, modelos lógicos e síntese cruzada de dados (YIN, 2015). Para o estudo de casos múltiplos deste trabalho, por serem utilizados dois grupos de estudos, foi aplicada a síntese cruzada de dados. A técnica de síntese cruzada de dados tem como objetivo totalizar a pesquisa a partir de estudos individuais dos casos (YIN, 2015). Para isso foram desenvolvidos quadros sínteses de acordo com as categorias de análise. A análise dos dados incluiu também os indicadores dos relatórios de sustentabilidade, bem como outros identificados nas entrevistas, tendo base

de comparação os indicadores BAT, por serem indicadores específicos relacionados à tecnologia.

Para a análise e discussão deste trabalho foram realizadas algumas etapas. Foram identificados parâmetros legais e outros parâmetros para identificação dos mais restritivos conforme os apêndices B, C, D, E, F. Foi também realizada a identificação da aplicação das Técnicas BATs nas empresas do Grupo e por fim foi realizado o agrupamento dos achados nas entrevistas e observações nos grupos de acordo com as categorias identificadas. Com base na literatura e nos dados coletados nas entrevistas e documentos, a exemplo dos relatórios de sustentabilidade 2015, foram identificados os principais indicadores a serem utilizados na comparação dos grupos. Para cada indicador, foi calculada a média do grupo e apresentados no capítulo 4 e discutidos no capítulo 5. Como alguns dados estavam em unidades de medidas diferentes, foi realizada uma transformação que permitisse a comparação entre eles. Nos casos em que não foi possível identificar valores para todas as empresas o indicador foi calculado com média proporcional a quantidade de empresas que apresentaram dados. Foi então realizada a análise das médias dos indicadores com os parâmetros restritivos para identificar se o grupo analisado cumpria a determinação legal. Posteriormente foi realizada comparação entre as médias os grupos para identificar o grupo com melhor desempenho ambiental. De forma complementar foram analisados os possíveis desvios significativos de empresas específicas cujo indicador ficou fora do padrão do grupo. Foi então feita uma análise dos indicadores com as tecnologias levantadas nas entrevistas de forma a identificar se as tecnologias específicas poderiam contribuir para a os resultados, identificando o grupo que mais aplica as Técnicas BATs e identificar os impactos das tecnologias no atendimento às melhores práticas disponíveis e relacionando a aplicação das tecnologias com a análise dos indicadores realizada anteriormente. Por fim, foi desenvolvida a conclusão do estudo e identificar possíveis oportunidades para análises futuras.

## 4 RESULTADOS DA PESQUISA

Este capítulo apresenta os dados levantados nas entrevistas exploratórias e semiestruturadas, observação, registros internos e documentos públicos de cada empresa e unidade estudada, agrupando-as de acordo com os elementos de potencial de poluição e utilização de recursos naturais.

### 4.1 DETERMINANTES DA INOVAÇÃO AMBIENTAL NA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE

Durante a pesquisa foram questionados os principais determinantes para a escolha da inovação. As determinantes da inovação foram classificadas nas categorias de grupos de pressão, políticas ambientais e P&D verde.

Na categoria grupos de pressão, foram encontradas como subcategorias as forças internas, parcerias, autoridades, uniões, organizações verdes, concorrentes e questões climáticas. Os resultados encontrados, em entrevistas, com relação à subcategoria forças internas, estão apresentados no Quadro 36.

Quadro 36 – Categoria Grupos de Pressão – Subcategoria Forças Internas

Subcategoria	Elementos	Grupo 1	Grupo 2
Forças Internas	Funcionários	Avaliam viabilidade Técnica. Avaliam viabilidade econômica. Sugestão de tecnologias	Lições aprendidas são estímulos para implantação de novas tecnologias. Análise das práticas cotidianas. Parceria com a Área de Projetos Funcionários participam com ideias inovadoras para melhorias de processos e de desempenho ambiental. Em função do tamanho da empresa há falha na comunicação levando a áreas desenvolverem projetos em duplicidade Funcionários atuam no programa interno sugerindo inovações, tanto na área de processos quanto na área ambiental.
	Centro de Tecnologia e Controle técnico	Melhora, otimiza e inova processos Pesquisa em projeto de Bio-óleo a partir da lignina Pesquisa de queima e secagem do lodo	Área de controle técnico atua na pesquisa de novas tecnologias. Apesar de não haver área de P&D na empresa, há uma área de controle técnico responsável pela pesquisa

Subcategoria	Elementos	Grupo 1	Grupo 2
Forças Internas	Área de engenharia	Apoio no compartilhamento de tecnologias entre as unidades Estuda possíveis soluções de inovação	Equipe de engenharia projetando a fábrica com projeção futura de atividade. Benchmarking com outras plantas da empresa Gestão de Riscos Atuação da área de engenharia em caso de situações emergenciais para estudo e viabilidade de investimento Engenharia realiza pesquisas sobre as inovações. A área de pesquisa em engenharia está presente em cada planta
	Gerência	Projetos de melhoria só são aprovados se tiverem base ambiental Implantação da última tecnologia há mais de 10 anos.	Metas internas são definidas para os principais parâmetros, em todas as áreas. Diretorias aprovam as sugestões realizadas
	Cultura organizacional	Cultura organizacional gerada pelo medo da empresa ser prejudicada como no passado	Não mencionado em entrevista

Fonte: Autora

Na subcategoria Forças Internas, no Elemento Funcionários apenas uma empresa do Grupo 1 citou a sua influência na escolha ou sugestões de inovações ambientais enquanto que no Grupo 2, a maioria das empresas teve este elemento citado como contribuidor da implantação de novas tecnologias uma vez que é a partir da necessidade dos funcionários que novas ideias de melhoria de processos ocorrem. O Elemento de Centro de Tecnologia e Controle técnico teve citação em apenas uma empresa de cada grupo. As empresas relataram que os centros têm um maior entendimento dos parâmetros dos processos e ambientais influenciando na busca de alternativas para adequá-los aos padrões. O Elemento da Área de Engenharia apesar de ter sido mencionado em apenas uma empresa do Grupo 1, foi mencionado pela maioria das empresas do Grupo 2. Uma vez que esta área faz projeto, avalia riscos e testa tecnologias de processos, é possível a sua atuação como determinante de melhorias de processos com ganho ambiental ou até mesmo de tecnologias ambientais complementares. Apesar de o Elemento de Gerência ser mencionado em menos da metade das empresas dos dois grupos entende-se que a sua participação como direcionadora estratégica da empresa pode afetar as novas aquisições tecnológicas. Por fim, o Elemento cultura organizacional foi citado apenas por uma empresa do Grupo 1 cuja experiência negativa levou a uma mudança na cultura organizacional sob o ponto de vista ambiental possibilitando um maior comprometimento na redução do potencial de poluição. Apesar do Grupo 1 citar mais determinantes da inovação nesta subcategoria, a quantidade de empresas relatando resultados

foi maior no Grupo 2 permitindo concluir que a subcategoria de forças internas é mais aplicada no Grupo 2.

Os resultados encontrados, em entrevistas, com relação à subcategoria parcerias estão apresentados no Quadro 37.

Quadro 37 - Categoria Grupos de Pressão – Subcategoria Parcerias

Subcategoria	Elementos	Grupo 1	Grupo 2
Parcerias	Fornecedores	Estudo de uma nova estação de tratamento de efluentes. Universidade atuou com consultoria no projeto de implantação do túnel de vento com base em uma solução já utilizada no setor de mineração. Consultoria atua em acompanhamento ao fornecedor em busca de alternativas no mercado. Visitas à empresa para apresentação de tecnologia	Alguns fornecedores são Andritz/ CVC/ CONFAB Valmet implanta sistema para suporte no monitoramento de indicadores de processos. Buckman é especializado no processo e equipamentos de linha de fibras com enzimas no cozimento. ECA (Akzonobel), que é um fornecedor de químicos e tem uma unidade dentro da planta. White Martins é empresa fornecedora de O2. Kemira fornecendo insumos químicos
	Empresas de outros setores	Não mencionado em entrevista	Utilização de biorreator em empresas de tratamento de água Benchmarking em empresas de outros setores. Visita a outras empresas de diversos setores em busca de soluções que possam ser aplicadas no setor de celulose
	Empresas do Setor	Cooperação de benchmarking	Utilização de cloro interno. Neutralização de efluente alcalino com gases da chaminé, reduzindo utilização de químico e reaproveitando gases da caldeira de força. Benchmarking com outras empresas do setor
	Instituições Financeiras	Relatou não receber incentivos financeiros	A empresa passa por várias auditorias do BIRD. Exigência de atendimento aos do Banco Mundial para fonte de financiamentos Auditoria das agências de crédito e exportação para verificar conformidade com os padrões do banco mundial.
	Instituições educacionais	Possui parceria informal com universidades	Pesquisa de consorcio no Canadá sobre meio ambiente e recuperação de fibras e lodo. Alunos de mestrado desenvolvem pesquisa na empresa informalmente

Fonte: Autora

Na subcategoria Parcerias, o elemento Fornecedores foi mencionado na maioria das empresas de cada grupo citando diversos fornecedores como importantes para a manutenção, não somente dos processos de produção, mas também no desenvolvimento de soluções ambientais. No elemento Empresas de outros setores foi mencionado apenas em empresas do Grupo 2 que buscam conhecer mais sobre tecnologias que podem ser reaproveitadas na indústria de celulose e papel. O elemento Empresas do Setor teve resposta em empresas de

ambos grupos uma vez que o benchmarking no setor foi citado como uma prática comum. Apesar de o elemento Instituições Financeiras ter retorno também no Grupo 1, ele foi citado por maioria apenas no Grupo 2 cujo relato menciona investimentos na expansão, exigências e auditorias. Por fim, elemento Instituições Educacionais teve apenas uma ocorrência em cada um dos grupos evidenciando não ser este um determinante de inovação muito comum no setor. Foi citado também que a maioria das relações com as instituições educacionais ocorre na maioria das vezes informalmente ou como contrato associado a prestação de serviços. De qualquer forma, os determinantes desta categoria estão mais presentes em empresas do Grupo 2 do que em empresas do Grupo 1.

Os resultados encontrados, em entrevistas, com relação às subcategorias autoridades, clientes, organizações verdes e questões climáticas estão apresentado no Quadro 38.

Quadro 38 - Categoria Grupos de Pressão – Subcategoria Autoridades, Clientes, organizações verdes e questões climáticas.

Subcategoria	Elementos	Grupo 1	Grupo 2
Autoridades	Órgãos regulamentadores	Reporte de dados sobre gases de efeito estufa.	Reporte diário de dados e indicadores ambientais para a ANEEL. Relatórios IBAMA E ANA.
	Associações industriais	ABTCP é uma grande fonte de informações e promove cursos com especialistas Compartilhamento de tecnologias ambientais	Todas as empresas do grupo fazem parte da ABTCP
Clientes	Clientes comerciais e privados	Pressão do Mercado para utilizar tecnologia	A crise mundial no setor levou a necessidades de inovação Relação através da gerência de comunicação. Solicitação de respostas a questionários sobre meio ambiente Exigência de atendimento aos padrões da comissão Europeia
Questões Climáticas	Influência	Não mencionado em entrevista	Tecnologias específicas foram escolhidas em função das alterações climáticas da região.
Organizações verdes	Comunidade	Pressiona a empresa com relação aos critérios ambientais. A comunidade é responsável pelas mudanças e implantações de tecnologias ambientais	As reclamações da comunidade são encaminhadas para o órgão de controle ambiental. Troca de equipamentos para melhor relacionamento com a comunidade Reclamações sobre poeira de caminhões levando a novo projeto de umectação de estradas com água pluvial captada A comunidade apoia a empresa pois a empresa investiu no crescimento da cidade A principal reclamação da comunidade está relacionada a odor.
	Mercado	Pressão na fábrica levando a implantação de tecnologias ambientais. Reclamações	Não mencionado em entrevista

Fonte: Autora

Na subcategoria Autoridades, o elemento de Órgãos Regulamentadores foi por minoria das empresas de cada grupo uma vez que estas empresas relatam indicadores de desempenho a estes órgãos. O elemento de Associações Industriais foi relatado pela minoria das empresas do Grupo 1, mas não como fonte de pressão mas como fonte de informação. Na subcategoria clientes, o elemento Clientes Comerciais e Privados foi relatado também pela minoria do Grupo 1 enquanto foi relatado pela maioria das empresas do Grupo 2. As demais empresas do Grupo 2 não citaram que os clientes sejam determinantes da inovação porque sua tecnologia já foi imposta por uma matriz ou por não haver uma necessidade de melhoria nos processos associados. Na subcategoria Organizações Verdes, o elemento Comunidade é apresentado pela minoria das empresas do Grupo 1 enquanto que é relatado pela maioria das empresas do Grupo 2. Nesse elemento, a situação da distância entre empresa e comunidade acaba distanciando esse determinante de inovação pela redução ou inexistência de reclamações ou incômodos à vizinhança. O elemento Mercado é mencionado em apenas uma empresa do Grupo 1 já que as demais empresas do Grupo 2 possuem produção destinada a clientes específicos e não compõem o mercado consumidor comum. Por fim, o elemento Influência relacionado às Questões Climáticas foi mencionado apenas por uma empresa do Grupo 2 que relata a importância em adaptar as tecnologias ambientais, a sazonalidade e as intempéries locais direcionando as questões climáticas a uma maior produção.

A Categoria Políticas Ambientais tem como Subcategorias as Medidas Voluntárias e a Regulamentação, apresentadas no Quadro 39.

Quadro 39 - Categoria Políticas Ambientais

Subcategoria	Elementos	Grupo 1	Grupo 2
Medidas Voluntárias	SGA	A empresa é certificada na ISO 14001, FSC (manejo florestal e em cadeia de Custódia) na ISO14790 e ISO14789; Certificação ISO14001. Relatório de controle ambiental;	A empresa possui FSC, <i>Selfouy</i> e cadeia de custódia; Certificação <i>Nord Swan</i> . Boas práticas de pegada de carbono. Boas práticas para controle de gases de efeito estufa; <i>Feedback</i> das práticas organizacionais através de questionários; A empresa tem a certificação ISO14001:2015; Exigência de atendimento aos padrões do selo Verde;
Regulamentação	Influência	A regulamentação impacta os investimentos em tecnologias ambientais	A análise de procedência das queixas de odor levou a aplicação de um software de modelagem atmosférica que indica a direção do vento e a concentração de emissões; A maioria das inovações é desenvolvida com o objetivo de atender a legislação
	Fiscalização	Fiscalização do órgão de controle ambiental	Órgão de controle ambiental disponibiliza manual e procedimentos

Subcategoria	Elementos	Grupo 1	Grupo 2
Regulamentação	Licenças	Não mencionado em entrevista	Órgão de controle ambiental determina critérios de licença A empresa possui um limite baixo para lançamento de carga orgânica de 820 kg por dia
	Multas	Não mencionado em entrevista	Quando há o envolvimento de multas ambientais, as mudanças em busca de inovação se tornam mais direcionadas.
	Gastos	Gastos R\$ 80 milhões de reais na estação de tratamento de efluentes, em sistema de coleta de gases umidificados. Gastos mais R\$ 35 milhões de reais para tratamento de resíduos sólidos. Gasto em torno de R\$ 5 milhões de reais no muro acústico. Gastos de R\$ 50 milhões de reais em EPCs, equipamento de controle ambiental, precipitadores eletrostáticos e dessulfurizadores.	O aterro custa R\$ 60,00 o m3 de resíduo Foi realizado um investimento em ETE de em torno de 2 milhões de reais
	Leis	Decreto 8464 de São Paulo. Classificação no setor potencialmente poluente CONAMA 357 CETESB	SEMA16. FEPAM. CONAMA 357. CONAMA 430 A política Nacional de Resíduos sólidos gera pressão para gerar menos resíduos e destinação com menor grau de impacto.
	Órgão de Controle Ambiental	Acompanhamento de projetos ambientais	Secretaria de meio ambiente é envolvida na viabilização de uma oficina mecânica

Fonte: Autora

Na subcategoria Medidas Voluntárias, o Elemento SGA (Sistema de Gestão Ambiental) foi mencionado nas entrevistas de todas as empresas do Grupo 1 e na maioria das empresas do Grupo 2 uma vez que o sistema de gestão ambiental ISO14001 é uma realidade na maioria das grandes indústrias de diversos segmentos. Na subcategoria Regulamentação, o elemento Influência, que refere-se a influência da regulamentação no atendimento a legislação, foi mencionado por poucas empresas dos dois grupos. O elemento Fiscalização foi mencionado pela minoria das empresas de cada grupo uma vez que alguns órgãos regulamentares promovem fiscalização periódica nas instalações das unidades mencionadas. O elemento Licenças foi relatado apenas pelas empresas do Grupo 2 que demonstraram a preocupação em atender aos requisitos definidos no projeto da planta e na licença de operação. O elemento Multas foi mencionado por apenas uma empresa do Grupo 2 que citou ter sofrido multas ambientais e que isso levou a busca de novas tecnologias ambientais de processos para evitar a uma nova ocorrência. O elemento Gastos, que também pode ser entendido como custos, foi mencionado como importante na busca pela inovação para melhoria do desempenho ambiental. O elemento Leis foi relatado por duas empresas de cada grupo exemplificando as leis que apoiam a melhoria do desempenho ambiental. Por fim, o

elemento Órgão de Controle Ambiental foi mencionado por apenas uma empresa de cada grupo como sendo complementar a fiscalização e a criação de outras leis. Na categoria políticas ambientais, os determinantes foram mais aplicados nas empresas do Grupo 2 do que nas empresas do Grupo 1.

A categoria P&D Verde tem como Subcategoria a Busca de Soluções evidenciando a utilização de tecnologias para apoiar a tomada de decisões na empresa e estão apresentadas no Quadro 40.

Quadro 40 – Categoria P&D Verde – Subcategoria Busca de Soluções

<b>Elementos</b>	<b>Grupo 1</b>	<b>Grupo 2</b>
Busca de Soluções/ Patentes	Não mencionado em entrevista	Busca por soluções de processos que apoiem o Meio Ambiente O P&D corporativo é responsável tanto pelas inovações corporativas como apoio as inovações nas plantas específicas Busca por novos padrões de negócios uma vez que em função das tecnologias digitais houve uma redução no consumo de papel. Estudo de tratamento de resíduos transformando-o em subprodutos. Aquisição de uma empresa de biotecnologia para apoiar as pesquisas. Desenvolve pesquisas na área florestal através de um centro de pesquisa
Melhoria da Produção	Estudo de melhorias em processos e meio ambiente Atuação nas pesquisas de melhoria de processos e ambiental	Não mencionado em entrevista
Inovações	Busca de tecnologias já difundidas	Busca inovações e desenvolvimento para os processos e a empresa

Fonte: Autora

O elemento Busca de Soluções foi mencionado pela maioria das empresas do Grupo 2 que mencionou a constante busca pela melhoria dos processos e do desempenho ambiental. Já o elemento melhoria da produção tem mais foco na busca que as empresas antigas realizam para melhorar o processo antigo em busca de alternativas que possam reduzir as possibilidades de acidentes ou contaminação. Nesta subcategoria, o elemento inovações foi mencionado por ambas as empresas que citaram a busca pela disseminação das tecnologias em uso como sendo inovação para a empresa ou processo específico.

#### 4.2 TECNOLOGIAS E INDICADORES DE CONSUMO DE ENERGIA.

Para a análise dos dados de energia foi desenvolvido um quadro relacionando as técnicas BAT com as principais tecnologias encontradas nos resultados. O resumo da BAT Consumo e Eficiência Energética e suas tecnologias é apresentada no Quadro 41.

Quadro 41 - Resumo da BAT Consumo e Eficiência Energética e Tecnologias Associadas

Técnicas	Comparativo de Grupos			
	Grupo 1		Grupo 2	
	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Utilização da energia incluindo: - Avaliação do consumo total de energia e da produção da instalação - Localização, quantificação e otimização do potencial de recuperação de energia - Monitoramento e salvaguarda do perfil ótimo de consumo de energia.	S – 3	Utilização de telas de controle	S – 5	Programa de conscientização Utilização de telas de controle
Recuperação de energia através da incineração dos resíduos da produção de pasta e papel, com elevado teor de matéria orgânica e elevado poder calorífico.	S – 1 N – 2	Queima de biomassa	S – 4 N – 1	Queima de biomassa Queima de papelão Utilização de equipamento eficiente para o cozimento de cavaco
Satisfazer as necessidades de vapor e energia elétrica por processos de produção através da cogeração de calor e eletricidade	S – 3	Queima de Licor Negro Turbina	S – 5	Queima de Licor Negro Queima de Hidrogênio no forno de cal Turbo gerador
Utilização do excesso de calor para a secagem da biomassa e de lodos, para o aquecimento da água de alimentação das caldeiras e da água dos processos.	S – 2 N – 1	Secagem de lodo	S – 4 N – 1	Secagem de celulose Transferência de vapor
Utilização de termo compressores	S – 2 N – 1	Termo compressor	S – 3 N – 2	Termo compressor
Isolamento de condutores de vapor e condensado	S – 3	Estrutura complexa de energia elétrica, térmica e gás.	S – 5	Transferência de vapor
Utilização de sistemas de vácuo energeticamente eficiente para a remoção de água	S – 1 N – 2	Secagem de lodo	S – 5	Secagem de lodo
Utilização de motores, bombas e agitadores elétricos de alta eficiência.	S – 3	Termo compressor Turbina	S – 5	Turbo gerador Turbina de geração de energia Melhoria da passagem de vapor pela turbina
Utilização de inversores de frequência nos ventiladores, compressores e bombas.	S – 3	Utilização de equipamento com inversor de frequência	S – 5	Utilização de equipamento com inversor de frequência
Ajustamento dos níveis de pressão de vapor às necessidades reais	S – 3	Queima de biomassa Válvula de escape de vapor Ciclo <i>Heat Recovery system</i>	S – 5	Transferência de vapor Queima de papel higiênico Queima de papelão Queima de biomassa

Fonte: Autora

A técnica de utilização de energia incluindo avaliação, recuperação e monitoramento é aplicada por todas as empresas de ambos os grupos uma vez que todas as empresas estudadas possuem centros de controle cujas telas evidenciam o monitoramento de todas as informações relacionadas aos processos e questões ambientais. Os programas de conscientização

desenvolvidos em empresas do Grupo 2 viabilizam a integração dos colaboradores à política ambiental de energia possibilitando que sejam encaminhadas novas ideias referentes a melhoria do desempenho ambiental bem como a colaboração dos mesmos na execução das ações de melhoria. As técnicas de isolamento de condutores de vapor e condensado também são aplicados em todas as empresas de ambos os grupos com transferência de vapor, do Grupo 2, e a utilização de um sistema energético misto com energia elétrica, térmica e gás. As técnicas de utilização de motores, bombas e agitadores elétricos de alta eficiência, inversores de frequência, ajuste dos níveis de pressão de vapor de acordo com as necessidades e satisfazer as necessidades de vapor através de cogeração de calor e eletricidade também são aplicados em todas as empresas de ambos os grupos. As tecnologias utilizadas nos dois grupos são comuns sendo que, em alguns casos, o Grupo 2 utiliza tecnologias complementares. As técnicas de utilização do excesso de calor para a secagem da biomassa e de lodos, para o aquecimento da água de alimentação das caldeiras e da água dos processos e a utilização de termo compressores são aplicados na maioria das empresas de ambos grupos com praticamente as mesmas tecnologias. Por fim, as técnicas de recuperação de energia através de incineração dos resíduos da produção de pasta e papel e a técnica de utilização de sistemas de vácuo energeticamente eficiente para a remoção de água são aplicadas na maioria das empresas do Grupo 2, mas não na maioria do Grupo 1. De qualquer forma, as tecnologias mais comuns utilizadas estão presentes em ambos os grupos, sendo que o Grupo 2 apresenta um pouco mais das tecnologias evidenciadas. Sendo assim, na BAT de Consumo e Eficiência Energética a maior parte das técnicas é aplicada proporcionalmente nas empresas de ambos os grupos sendo que apenas duas técnicas são aplicadas apenas pela maioria das empresas do Grupo 2. De qualquer forma, a quantidade de tecnologias aplicadas pelo Grupo 2 é maior que quantidade de tecnologias aplicadas pelo Grupo 1 sendo as tecnologias comuns: Utilização dos centros de controle, queima de biomassa, queima de licor, turbina, termo compressores, secagem de lodo e equipamentos com inversor de frequência. Apesar de não fazer parte de nenhuma BAT, foi identificada em uma empresa do Grupo 2 a tecnologia de construção de prédio considerando luminosidade natural, que é responsável pela redução de consumo de energia e melhorando a eficiência energética da planta.

A segunda BAT do tópico é a BAT Consumo de Energia cujo resumo é apresentado no Quadro 42.

Quadro 42 - Resumo da BAT Consumo de Energia e suas tecnologias

Técnicas	Comparativo de Grupos			
	Grupo 1		Grupo 2	
	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Caldeiras de alta eficiência na produção de vapor	S - 3	Caldeiras de recuperação Projetos de novas caldeiras	S - 5	Queima de biomassa em caldeira
Fechamento de circuitos de água, incluindo nas instalações de branqueamento.	S - 3	Alteração no processo com ganho ambiental	S - 5	Sistema de cozimento com economia de energia
Instalações de evaporação de alta eficiência	S - 3	Secagem de lodo	S - 5	Secagem de celulose
Utilização de controle da velocidade em grandes motores	S - 3	Turbina	S - 5	Turbina de geração de energia
Utilização de bombas de vácuo eficientes	S - 3	Equipamentos de baixo consumo de energia	S - 5	Equipamentos de baixo consumo de energia
Dimensionamento adequado das tubagens, das bombas e dos ventiladores.	S - 3	Termo compressor Turbina	S - 5	Turbo gerador Turbina de geração de energia Melhoria da passagem de vapor pela turbina
Otimização dos níveis dos tanques	S - 3	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental
Sistemas secundários de aquecimento eficientes	S - 3	<i>Duct Stripper</i> Termo compressor Troca de consumo de óleo para gás natural	S - 4 N - 1	Queima de hidrogênio no forno de cal Utilização de energias não renováveis como diesel e gás GLP
Monitorização e controle dos processos por recurso a sistemas avançados de controle	S - 3	Utilização das telas de controle	S - 4 N - 1	Utilização das telas de controle
Maior consistência possível da pasta nas fases de lavagem	S - 3	Alteração no processo com ganho ambiental	S - 4 N - 1	Alteração no processo com ganho ambiental
Aumento da consistência da pasta	S - 3	Alteração no processo com ganho ambiental	S - 4 N - 1	Alteração no processo com ganho ambiental
Recuperação e utilização de correntes de efluentes a baixa temperatura e de outras fontes de calor residual para o aquecimento	S - 2 N - 1	Alteração no processo com ganho ambiental	S - 4 N - 1	Alteração no processo com ganho ambiental
Recuperação do calor dos tanques de dissolução	S - 1 N - 2	Caldeira de recuperação	S - 4 N - 1	Caldeira de recuperação
Utilização adequação do calor secundário e dos condensados secundários	S - 1 N - 2	Equipamentos de baixo consumo de energia	S - 4 N - 1	Equipamentos de baixo consumo de energia
Utilização de prensas eficientes ou secagem para aumentar o teor de sólidos secos da casca	S - 1 N - 2	Equipamentos de baixo consumo de energia	N - 4 NA - 1	Equipamentos de baixo consumo de energia
Otimização da rede integrada de permutadores de calor	S - 2 N - 1	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental	S - 2 N - 3	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental Transferência de vapor

Técnicas	Comparativo de Grupos			
	Grupo 1		Grupo 2	
	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Recuperação de calor dos efluentes gasosos da caldeira de recuperação, entre o precipitador eletrostático e o ventilador.	S - 2 N - 1	Equipamentos de baixo consumo de energia	S - 1 N - 4	Equipamentos de baixo consumo de energia
Utilização de bombas de vácuo eficientes	S - 3	Equipamentos de baixo consumo de energia	S - 5	Equipamentos de baixo consumo de energia

Fonte: Autora

Quase metade das técnicas da BAT de consumo de energia é aplicada por todas as empresas de ambos os grupos. De forma semelhante à BAT anterior, as tecnologias comuns são aplicadas nos dois grupos, sendo que o Grupo 2 possui um pouco mais de tecnologias complementares do que o Grupo 1. Apenas a técnica de Recuperação e utilização de correntes de efluentes a baixa temperatura e de outras fontes de calor residual para o aquecimento é aplicada na maioria das empresas dos dois grupos, sendo a Alteração no processo com ganho ambiental sua tecnologia. Em cinco técnicas a aplicação das BATs ocorreu em todas ou nas maiorias das empresas do Grupo 1 e na maioria das empresas do Grupo 2, sendo a maior parte das tecnologias aplicadas as mesmas. As técnicas de Recuperação do calor dos tanques de dissolução e Utilização adequação do calor secundário e dos condensados secundários são aplicadas na maioria apenas do Grupo 2. Já as técnicas de Otimização da rede integrada de permutadores de calor e Recuperação de calor dos efluentes gasosos da caldeira de recuperação, entre o precipitador eletrostático e o ventilador são aplicadas na maioria apenas do Grupo 1. Estas últimas quatro técnicas apresentaram praticamente as mesmas tecnologias em ambos os grupos. A técnica Utilização de prensas eficientes ou secagem para aumentar o teor de sólidos secos da casca foi aplicada na minoria das empresas dos dois grupos. Apesar da atuação semelhante das empresas dos dois grupos, o Grupo 2 apresentou maior quantidade de tecnologias aplicadas.

A terceira e última BAT referente à Energia é a BAT Eficiência Energética. O resumo da BAT e suas tecnologias são apresentados no Quadro 43.

Quadro 43 - Resumo da BAT Eficiência Energética e suas tecnologias associadas

Técnicas	Comparativo de Grupos			
	Grupo 1		Grupo 2	
	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Aumento do teor de sólidos secos na licor negro	S - 3	Caldeira de recuperação	S - 5	Caldeira de recuperação

Técnicas	Comparativo de Grupos			
	Grupo 1		Grupo 2	
	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Elevadas pressões e temperaturas nas caldeiras de recuperação	S - 3	Queima de Licor	S - 5	Queima de Licor
Turbinas de condensação para o aproveitamento do excesso de vapor para a produção de eletricidade	S - 3	Turbinas	S - 5	Turbinas de geração de energia
Turbinas de alta eficiência	S - 3	Turbinas Equipamentos de baixo consumo de energia	S - 5	Turbinas de geração de energia Equipamentos de baixo consumo de energia
Pré-aquecimento da água de alimentação das caldeiras a uma temperatura próxima da temperatura de ebulição	S - 3	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental
Pré-aquecimento do ar de combustão e do combustível de alimentação das caldeiras	S - 3	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental
Pressão do vapor à saída das turbinas de contrapressão tão baixa quanto tecnicamente exequível	S - 3	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental	S - 4 N - 1	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental

Fonte: Autora

As técnicas da BAT Eficiência Energética são aplicadas em todas as empresas de ambos os grupos, com as mesmas tecnologias. Foram evidenciados caldeira de recuperação, queima de licor, turbinas, equipamentos de baixo consumo e alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental. Estas são as tecnologias comuns nas indústrias do setor de celulose e papel, independente da idade da instalação.

Em função do consumo de energia ser considerado basicamente um item de consumo, não foi levantado parâmetros legais para comparar com os grupos de indicadores. Com base nas entrevistas e nos relatórios de sustentabilidade foram selecionados indicadores de energia que serviram de comparação com base nos relatórios sustentabilidade e em dados coletados das empresas para posteriormente calcular a média das empresas de cada grupo. Um resumo das médias de indicadores sobre energia é apresentado no Quadro 44.

Quadro 44 - Médias de indicadores sobre energia

Indicadores	Media G1	Media G2
Energia gerada (MWh/tsa)	0,73	0,85
Energia comprada (MWh/tsa)	0,039	0,010
Energia consumida (MWh/tsa)	0,706	0,61

Fonte: Autora

Os principais indicadores possíveis de análise são o de energia gerada, energia comprada e energia consumida, sendo todos considerados em função da quantidade de celulose produzida. Nesse caso as empresas mais modernas tecnologicamente geram mais energia em contrapartida a um menor consumo e compra do que as empresas do Grupo 1.

#### 4.3 TECNOLOGIAS E INDICADORES DE CONSUMO DE ÁGUA

Para a análise dos dados de consumo de água foi desenvolvido um quadro relacionando as técnicas BAT com as principais tecnologias encontradas nos resultados. O resumo da BAT Redução do Consumo de Água Doce e suas tecnologias associadas são apresentados no Quadro 45.

Quadro 45 - Resumo da BAT Redução do Consumo de Água Doce e suas tecnologias

Técnicas	Comparativo de Grupos			
	Grupo 1		Grupo 2	
	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Monitoramento e otimização do consumo de água	S – 3	Pavimentação de pátio de madeira Sistema de recuperação de perdas Sistema de resfriamento de água em circuito fechado Tecnologia de reuso de água	S – 5	Software IAD Captação de águas pluviais por bombas Recuperação de água de selagem Tecnologia de reuso de água
Avaliação das opções para a recirculação da água	S – 3	Recirculação fechada de água	S – 5	Software IAD
Equilíbrio dos circuitos de água com os potenciais efeitos negativos	S – 3	Circuito fechado de água	S – 5	Circuito fechado de água
Reutilização das águas menos contaminadas provenientes da selagem de bombas de vácuo	S – 3	Recirculação fechada de água	S – 5	Reaproveitamento de água Tecnologia de reuso da água
Reutilização da água dos processos	S – 3	Contra lavagem Recirculação fechada de água Lavagem de toras por spray de água	S – 5	Ajuste de equipamentos e máquinas de secagem <i>Densadeg</i> Lavagem de polpa utilizando condensado em DDWASH
Reutilização de água contaminada do processo como água de refrigeração	S – 3	Tecnologia de reuso da água	S – 4 N – 1	Circuito semiaberto de circulação
Tratamento da água dos processos, para melhorar a sua qualidade, de modo a permitir a recirculação ou reutilização.	S – 1 N – 2	ETAC	S – 4 N – 1	ETAC

Fonte: Autora

A maior parte das técnicas apresentadas para Redução do Consumo de Água Doce apresentou aplicação em todas as empresas de ambos os grupos com algumas semelhanças entre as tecnologias, sendo que o Grupo 2 apresentou em algumas técnicas mais de uma tecnologia aplicada. Apesar da técnica de reutilização de água contaminada do processo como água de refrigeração ter sido aplicada em todas as empresas do Grupo 1, a sua aplicabilidade no Grupo 2 também foi expressiva apresentando mais tecnologias associadas. A técnica de tratamento da água dos processos foi aplicada na maioria das empresas do Grupo 2 e na minoria das empresas do grupo 1, apresentando para isso a mesma tecnologia. Para a redução do consumo de água doce são então tecnologias comuns Tecnologia de reuso de água, Circuito fechado de água e ETAC.

Nas entrevistas e nos relatórios de sustentabilidade foram selecionados indicadores de consumo de água que serviram de comparação com base nos relatórios de sustentabilidade e em dados coletados das empresas para posteriormente calcular a média das empresas de cada grupo. Um resumo das médias de indicadores é apresentado no Quadro 46.

Quadro 46 - Médias de Indicadores sobre Consumo de Água

<b>Indicadores</b>	<b>Media G1</b>	<b>Media G2</b>
Água Captada Total (m3)	46.735.059	35.780.231
Volume Reciclado (m3)	79.355.362	141.431.119
Consumo de água (m3/tsa)	30,3	25,38

Fonte: Autora

Os indicadores selecionados para análise são água captada total (m3), Volume Reciclado (m3) e consumo de água (m3/tsa). De acordo com as médias, as empresas do Grupo 2 captam e consomem menos água, em contrapartida a um maior volume de água reciclada do que as empresas do Grupo 1.

#### 4.4 TECNOLOGIAS E INDICADORES DE EFLUENTES

As técnicas e inovações que permitiram a melhoria do desempenho ambiental baseiam-se nas melhores práticas para prevenção de poluição (BAT) e nas tecnologias identificadas nas entrevistas e outras fontes de pesquisa aplicadas às empresas do estudo. Foram também realizadas análises das tecnologias aplicadas ao tratamento de efluentes de acordo com os dois grupos de empresas, identificando os resultados da aplicação das tecnologias em cada grupo. Após o agrupamento das tecnologias foi realizada a comparação

dos resultados dos indicadores ambientais das empresas com os principais parâmetros estabelecidos nas legislações e documentos associados para análise do grau de poluição.

Os dados coletados na pesquisa sobre a BAT de Armazenamento e preparação de madeira na indústria de celulose e papel são apresentados no Quadro 47 junto com as principais tecnologias aplicáveis identificadas na entrevista.

Quadro 47- Resumo da BAT de Armazenamento e preparação de madeira e tecnologias associadas

Técnicas	Comparativo de Grupos			
	Grupo 1		Grupo 2	
	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Descascamento a seco para evitar contaminação da água	NA - 3	<i>Harvester</i> - Descascamento na floresta	N - 3 NA - 2	<i>Harvester</i> - Descascamento na floresta Tambor lavador e descascador de tora
Evitar a contaminação das cascas e da madeira com areia e pedras	S - 1 NA - 2	Pavimentação da área de armazenagem	S - 3 N - 1 NA - 1	<i>Harvester</i> - Descascamento na floresta Tambor lavador e descascador de tora Pavimentação da área de armazenagem Cobertura do pátio de madeira
Pavimentação das áreas de armazenagem de madeira	S - 2 N - 1	Definição em projeto de planta	S - 4 N - 1	Definição em projeto de planta
Minimização do escoamento superficial de água nas áreas de armazenagem de madeiras	S - 3	Sistema de captação de água no pátio de madeira e encaminhamento para ETE	S - 4 NA - 1	Sistema de captação de água no pátio de madeira e encaminhamento para ETE
Coleta de água contaminada e remoção de sólidos	S - 3	Sistema de captação de água no pátio de madeira e encaminhamento para ETE	S - 5	Sistema de captação de água no pátio de madeira e encaminhamento para ETE

Fonte: Autora

Nota: S = Sim. N = Não. NA = Não Aplicável à estrutura/ processo da empresa

O descascamento de toras nas florestas ocorre com a tecnologia *Harvester*, que corta e descasca a madeira. Apesar de não ser uma tecnologia específica para este estudo, foi mencionada em entrevista como sendo necessária para evitar contaminação do efluente. As empresas que não descascam nas florestas, bem como aqueles que apesar de usar o *Harvester* recebem as toras de madeira com restos de cascas, utilizam o tambor de descascamento e lavagem que possui a possibilidade de coletar a água contaminada e enviar para a ETE. A madeira no pátio fica exposta a intempéries e a poeira e areia trazidas pelos caminhões no descarregamento da madeira sendo as formas de minimizar esta contaminação são: a Pavimentação da área de armazenagem e Cobertura do pátio de madeira, sendo estas tecnologias mencionadas na coleta de dados da BAT apesar de não terem sido mencionadas

como tecnologias que melhoram o desempenho ambiental. A pavimentação da área de armazenagem das empresas que citaram esta tecnologia foi contemplada no projeto da unidade. Por fim, a Minimização do escoamento superficial de água nas áreas de armazenagem de madeiras e a Coleta de água contaminada e remoção de sólidos são aplicadas com o Sistema de captação de água no pátio de madeira e encaminhamento para ETE. Desta forma, a água residual do pátio de madeira não é escoada diretamente para o rio, sendo tratada antes da sua emissão. De forma geral, as técnicas da BAT de Armazenamento e preparação de madeira são aplicadas mais nas empresas do Grupo 2 do que nas empresas do Grupo 1.

Os dados coletados na pesquisa sobre a BAT de águas residuais e emissões para a água no processo de polpa *kraft* são apresentados no Quadro 48 junto com as principais tecnologias aplicáveis identificadas na entrevista.

Quadro 48- Resumo da BAT de águas residuais e emissões para a água no processo de polpa *kraft* e tecnologias associadas

Técnicas	Comparativo de Grupos			
	Grupo 1		Grupo 2	
	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Recirculação parcial da água processual no branqueamento	S – 3	Processo de branqueamento sem cloro livre	S – 5	Processo de branqueamento sem cloro livre
Cozimento modificado antes do branqueamento	S – 3	Processo de pré-branqueamento	S – 5	Processo de pré-branqueamento
Deslignificação com oxigênio antes do branqueamento	S – 3	Processo de pré-branqueamento	S – 5	Processo de pré-branqueamento
Lavagem fechada e eficiente da pasta crua	S – 3	Recirculação de água	S – 4 N - 1	Recirculação de água
Monitorização e contenção eficaz dos derrames, incluindo a recuperação de substâncias e energia.	S – 3	Sistemas de bacia de contenção Lagoa de Emergência	S – 5	Sistemas de bacia de contenção Lagoa de Emergência
Manutenção na evaporação do licor negro e caldeira de recuperação, para acomodar picos de carga.	S - 3	Sistemas de bacia de contenção Recuperação de Químicos	S – 5	Sistemas de bacia de contenção Recuperação de Químico
Extração e reutilização dos condensados contaminados	S – 3	Recuperação de Químicos	S – 5	Recuperação de Químico

Fonte: Autora

Nota: S = Sim. N = Não. NA = Não Aplicável à estrutura/ processo da empresa

As técnicas de recirculação parcial da água processual no branqueamento, cozimento modificado antes do branqueamento, monitorização e contenção eficaz dos derrames, incluindo a recuperação de substâncias e energia, monitorização e contenção eficaz dos derrames, manutenção na evaporação do licor negro e caldeira de recuperação, para acomodar

picos de carga, extração, deslignificação com oxigênio antes do branqueamento e reutilização dos condensados contaminados são aplicados por todas as empresas de ambos os grupos. A técnica de lavagem fechada e eficiente da pasta crua é aplicada por todas as empresas do Grupo 1 enquanto que apenas uma empresa no Grupo 2 não aplica a técnica. A recirculação e água mencionada nesta BAT é uma tecnologia aplicada também no tópico de água uma vez que reduz o seu consumo.

As emissões de águas residuais tratadas ou efluentes precisam ser monitoradas. Os dados coletados na pesquisa sobre a BAT de Monitoramento são apresentados no Quadro 49 junto com as principais tecnologias aplicáveis identificadas na entrevista.

Quadro 49 - Resumo das BATs de Monitoramento (efluentes) e suas tecnologias

BAT	Técnicas	Comparativo de Grupos			
		Grupo 1		Grupo 2	
		Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Monitoramento das emissões para a água	Demanda química de oxigênio (CQO) ou carbono orgânico total (COT) ou demanda química de oxigênio	S – 3	ETE Controle Laboratorial	S – 3 N - 2	ETE Controle Laboratorial
	DBO	S – 2 N – 1	ETE Controle Laboratorial	S – 4 N - 1	ETE Controle Laboratorial
	Sólidos suspensos totais (SST) Diária	S – 3	ETE Controle Laboratorial	S – 5	ETE Controle Laboratorial
	Nitrogênio total	S – 2 N – 1	ETE Controle Laboratorial	S – 3 N - 2	ETE Controle Laboratorial
	Fósforo total	S – 3	ETE Controle Laboratorial	S – 5	ETE Controle Laboratorial
	EDTA, DTPA	S – 2 N – 1	ETE Controle Laboratorial	S – 1 N - 4	ETE Controle Laboratorial
	AOX (em conformidade com a norma EN ISO 9562:2004)	S – 3	ETE Controle Laboratorial	S – 5	ETE Controle Laboratorial
	Metais relevantes (por exemplo, Zn, Cu, Cd, Pb, Ni)	S – 3	ETE Controle Laboratorial	S – 5	ETE Controle Laboratorial
Monitorando parâmetros-chave do processo	Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a água	S – 3	ETE Controle Laboratorial	S – 5	ETE Controle Laboratorial

Fonte: Autora

Nota: S = Sim. N = Não. NA = Não Aplicável à estrutura/ processo da empresa

O Antiespumante e Sistema de dispersão são tecnologias que são aplicadas ao fim do processo e, embora atuem com objetivos específicos não produzem impacto ambiental. O

antiespumante, utilizado por apenas uma empresa foi justificado por trazer uma melhoria apenas no aspecto visual do efluente uma vez que os demais parâmetros atenderiam a legislação. A justificativa da aplicação do sistema de dispersão pauta no lançamento do efluente em diversos pontos da lagoa ou rio.

Nas entrevistas e nos relatórios de sustentabilidade foram identificados indicadores de poluição hídrica comparados com os parâmetros mais restritivos previstos em legislação. Inicialmente foi feito o levantamento dos valores dos indicadores das empresas nas entrevistas e nos relatórios de sustentabilidade. Depois foi feita a transformação dos dados para que eles estivessem na mesma unidade de medida para posteriormente calcular a média das empresas de cada grupo. Foi também realizada uma pesquisa sobre os principais parâmetros definidos nas melhores práticas BAT de 2001 e 2014 e nas legislações estaduais e federais associadas às unidades de pesquisa: CONAMA RESOLUÇÃO No 430, DE 13 DE MAIO DE 2011, DECRETO N° 8.468, de 08 de setembro de 1976 – SP, Deliberação CECA N° 36 DE 27/06/2012 – MS, NT-202.R-10 - Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos – RJ, Portaria N° 05/89, de 16/03/89. – RS, Portaria SEMA n° 105 de 18/11/2011 – MA, RESOLUÇÃO CEPRAM n° 1 de 08/10/1974 – BA e Portaria SEMA n° 16. Com base nestes valores foram identificados os parâmetros mais restritivos de acordo com os apêndices B, D, E e F. Um resumo das médias e parâmetros mais restritivos é apresentado no Quadro 50.

Quadro 50- Médias e Parâmetros Restritivos de Efluentes.

<b>Classificação</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Media G1</b>	<b>Media G2</b>	<b>Restritivo</b>
Físico	Sólidos Suspensos	1,04	1,61	Ausência
	Vazão m <sup>3</sup> /tsa	56,66	27,56	25-50
Inorgânico	Fosforo Total mg/l P	0,05	0	1,0
	Mercurio total mg/L	0	0	0,01
	Nitrogênio amoniacal total mg/l	1	0	10
Orgânico	AOX kg/tsa	0,04	0,04	<0,20
	Fenol mg/l	0,03	0	0,5
	DBO 5 dias, 20°C kg/tsa	1,21	0,28	0,3 – 1,5
	DQO kg/tsa	11,47	4,44	Até 20
	Sulfeto de carbono (mg/l)	0,10	0	1,0
	Substâncias tenso ativas que reagem ao azul de metileno (mg/MBAS/L)	1,6	0	2,0

Fonte: Autora

A maioria dos indicadores de efluentes de ambos os grupos está abaixo dos parâmetros mais restritivos estabelecidos na legislação ou nas melhores práticas. Como em ambos os grupos há implantação de tecnologias ambientais permite-se concluir que a implantação destas tecnologias impacta na melhoria dos indicadores auxiliando o atendimento aos padrões

mais restritivos. Observa-se também que os melhores indicadores estão presentes no Grupo 2, das empresas tecnologicamente mais modernas.

#### 4.5 TECNOLOGIAS E INDICADORES DE EMISSÕES.

Para a organização dos resultados, os dados utilizados foram coletados na pesquisa sobre BAT de emissões, tecnologias e indicadores. Sendo assim, para este tópico a análise das técnicas BAT e tecnologia ocorrerão relacionadas aos indicadores analisados. Nas emissões tóxicas foram avaliados os indicadores de SOX, NOX e Material particulado, sendo que para odor foi avaliado o TRS. As principais BATs e técnicas que impactam no indicador de SOX são Monitoramento das emissões para o ar e dos parâmetros-chave do processo; Emissões de queimadores para gases com forte odor, Emissões de SO<sub>2</sub> e TRS das caldeiras de recuperação, de SO<sub>2</sub> proveniente de fornos de cal, Medidas para reduzir as emissões de SO<sub>2</sub> e Redução das emissões de poeiras e de SO<sub>2</sub> das caldeiras de recuperação. As BATs, técnicas e tecnologias para SOX são apresentadas no Quadro 51.

Quadro 51 - Resumo das BATs, técnicas e tecnologias para SOX.

BAT	Técnicas	Comparativo de Grupos			
		Grupo 1		Grupo 2	
		Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Monitorando das emissões para o ar	Controle de SO <sub>2</sub>	S - 3	Estação de monitoramento da qualidade do ar	S - 5	Estação de monitoramento da qualidade do ar Analisador de chaminé
Monitorando parâmetros-chave do processo	Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a atmosfera	S - 3	Estação de monitoramento da qualidade do ar	S - 5	Estação de monitoramento da qualidade do ar Analisador de chaminé
Emissões de queimadores para gases com forte odor	Utilizar um lavador de SO <sub>2</sub> com meio alcalino	S - 1 N - 2	Lavador de gases	S - 4 NA - 1	Lavador de gases
Emissões de SO <sub>2</sub> das caldeiras de recuperação	Aumento do teor de sólidos secos do licor negro	S - 3	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor na caldeira de recuperação
	Combustão otimizada	S - 3	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor na caldeira de recuperação
	Lavagem de gases	S - 3	Lavadores de gases	S - 5	Lavadores de gases

BAT	Técnicas	Comparativo de Grupos			
		Grupo 1		Grupo 2	
		Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Emissões de SO <sub>2</sub> proveniente de fornos de cal	Seleção dos combustíveis com baixo teor de enxofre	S - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor no forno de cal Analisador de chaminé
	Incineração limitada de gases odorosos concentrados no forno de cal	S - 2 N - 1	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental
	Controle do teor de Na <sub>2</sub> S de lodos de cal de alimentação	S - 3	Medidor no forno de cal	S - 4 N - 1	Medidor no forno de cal Analisador de chaminé
	Lavagem alcalina dos gases	S - 1 N - 2	Lavadores de gases	S - 1 N - 4	Lavadores de gases
Medidas para reduzir as emissões de SO <sub>2</sub>	Coleta e recuperação de enxofre das correntes concentradas.	S - 2 N - 1	Sistema de captura de gases Sistema de Backup para queima	S - 5	Sistema de captura de gases Sistema de Backup para a queima Medidor na caldeira de recuperação
Redução das emissões de poeiras e de SO <sub>2</sub> das caldeiras de recuperação	Utilização de precipitadores eletrostáticos ou multiciclones com lavadores de gases	S - 2 N - 1	Lavadores de gases Precipitadores eletrostáticos	S - 5	Lavadores de gases Precipitadores eletrostáticos
	Utilização de precipitadores eletrostáticos ou multiciclones com lavadores de gases a jusante	S - 2 N - 1	Lavadores de gases Precipitadores eletrostáticos	S - 2 N - 3	Lavadores de gases Precipitadores eletrostáticos

Fonte: Autora

Nota: S = Sim. N = Não. NA = Não Aplicável à estrutura/ processo da empresa

Apesar das empresas não citarem todas as tecnologias identificadas na literatura, há muita alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental que não são consideradas inovações ambientais. Para reduzir a emissão de SOX, as técnicas de Controle de SO<sub>2</sub>, Monitoramento dos principais parâmetros de processo, aumento do teor de sólidos secos do licor negro, combustão otimizada, lavagem de gases, seleção dos combustíveis com baixo teor de enxofre são aplicadas em todas as empresas dos dois grupos de estudo utilizando como principais tecnologias Estação de monitoramento da qualidade do ar, analisadores de chaminés, lavadores de gases, sistema de capturas de gases, tecnologias de queima, precipitadores eletrostáticos e alterações de processos com ganho ambiental. Este último muito citado em ambos os grupos evidencia que as melhorias de processos estão cada vez mais ligadas a melhoria do desempenho ambiental. As técnicas BAT relacionadas a SOX, bem como suas respectivas tecnologias, são mais aplicadas no Grupo 2 do que o Grupo 1.

Com relação à NOX, as principais BATs associadas são monitoramento das emissões para o ar, monitorando parâmetros-chave do processo, emissões de NOX dos queimadores para gases com forte odor, emissões de NOX das caldeiras de recuperação, emissões de NOX proveniente de fornos de cal e redução das emissões de NOX das caldeiras de recuperação.

As BATs, técnicas e tecnologias para NOX são apresentadas no Quadro 52.

Quadro 52 - Resumos das BATs, técnicas e tecnologias para NOX

BAT	Técnicas	Comparativo de Grupos			
		Grupo 1		Grupo 2	
		Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Monitorando as emissões para o ar	Controle de Nox	S - 2 N - 1	Estação de monitoramento da qualidade do ar	S - 5	Estação de monitoramento da qualidade do ar
Monitorando parâmetros-chave do processo	Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a atmosfera	S - 3	Estação de monitoramento da qualidade do ar	S - 5	Detectores das chaminés com disco de ruptura Estação de monitoramento da qualidade do ar Sistema de coleta de dados (PINS) Ferramenta de gestão (IPA)
Emissões de Nox dos queimadores para gases com forte odor	Otimização da queima	S - 3	Digestor de alta performance	S - 4 NA - 1	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental
	Incineração por fases	S - 1 N - 2	Digestor de alta performance	S - 4 NA - 1	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental
Emissões de NOX das caldeiras de recuperação	Controle computadorizado da combustão	S - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor na caldeira de recuperação
	Otimização da mistura combustível-ar	S - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor na caldeira de recuperação
	Sistemas de alimentação de ar distribuído	S - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor na caldeira de recuperação
Emissões de NOX proveniente de fornos de cal	Otimização e controle da combustão	S - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor no forno de cal
	Otimização da mistura combustível-ar	S - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor no forno de cal
	Utilização de queimadores com baixo nível de NOX	S - 1 N - 2	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor no forno de cal

BAT	Técnicas	Comparativo de Grupos			
		Grupo 1		Grupo 2	
		Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
	Seleção dos combustíveis ou combustíveis com baixo teor de N	N - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor no forno de cal
Redução das emissões de NOX das caldeiras de recuperação	Otimização das caldeiras de recuperação mediante o controle das condições de combustão	S - 3	Digestor de alta performance	S - 5	Queimador <i>Low Nox</i> , na caldeira de recuperação Medidor na caldeira de recuperação
	Injeção faseada do licor	S - 1 N - 2	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Medidor na caldeira de recuperação
	Redução não catalítica seletiva (SNCR)	N - 3	Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental	S - 1 N - 4	Medidor na caldeira de recuperação

Fonte: Autora

Nota: S = Sim. N = Não. NA = Não Aplicável à estrutura/ processo da empresa

As técnicas Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a atmosfera, Controle computadorizado da combustão, Otimização da mistura combustível-ar, Sistemas de alimentação de ar distribuído, Otimização e controle da combustão, Otimização da mistura combustível-ar, Seleção dos combustíveis ou combustíveis com baixo teor de N e Otimização das caldeiras de recuperação mediante o controle das condições de combustão são aplicadas em todas as empresas de ambos os grupos pesquisados aplicando como principais tecnologias estação de monitoramento da qualidade do ar, digestores de alta performance, alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental, medidor na caldeira de recuperação, no forno de cal e queimador *LowNox*.

As técnicas de Incineração por fases, Utilização de queimadores com baixo nível de NOX e Injeção faseada do licor foram aplicadas em todas as empresas do Grupo 2, com alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental, e pela minoria das empresas do Grupo 1, com Digestor de alta performance. A técnica de Controle de Nox foi aplicada em todas as empresas do Grupo 2 e na maioria das empresas do Grupo 1, utilizando a tecnologia de estação de monitoramento da qualidade do ar. Somente duas técnicas são aplicadas por todas as empresas do Grupo 1: Técnica de otimização de queima, com a tecnologia de Digestor de alta performance, e Redução não catalítica seletiva (SNCR), com Alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental, sendo que a primeira foi aplicada também na maioria das empresas do Grupo 2 e a segunda

foi aplicada em apenas uma empresa do Grupo 2, com as tecnologias de alteração de processos de produção que geram melhoria no desempenho ambiental e o uso de medidor na caldeira de recuperação respectivamente. Logo, com relação à NOX, há maior aplicabilidade de técnicas e tecnologias ambientais no Grupo 2

As principais BATs e técnicas que impactam no indicador de Particulado são: Monitorando parâmetros-chave do processo, Emissões de pó das caldeiras de recuperação, Monitoramento das emissões para o ar e Emissões de Poeiras provenientes de fornos de cal. As BATs, técnicas e tecnologias para material particulado são apresentadas no Quadro 53.

Quadro 53 - Resumo das BATs, técnicas e tecnologias para material particulado.

BAT	Técnicas	Comparativo de Grupos			
		Grupo 1		Grupo 2	
		Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Monitorando parâmetros-chave do processo	Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a atmosfera	S - 3	Estação de monitoramento da qualidade do ar	S - 5	Detectores das chaminés com disco de ruptura Estação de monitoramento da qualidade do ar Medidor de Opacidade Analisador de material particulado com infravermelho Ferramenta de gestão (IPA)
Emissões de pó das caldeiras de recuperação	Utilização de precipitador eletrostático (ESP)	S - 3	Precipitadores eletrostáticos	S - 5	Precipitadores eletrostáticos
	Combinação de ESP e depurador úmido.	S - 1 N - 2	Depurador úmido Precipitadores eletrostáticos	S - 2 N - 3	Depurador úmido Precipitadores eletrostáticos
Monitoramento das emissões para o ar	Poeiras	S - 3	Estação de monitoramento da qualidade do ar	S - 5	Estação de monitoramento da qualidade do ar Ferramenta de gestão (IPA)
Emissões de Poeiras proveniente de fornos de cal	Utilização de precipitadores eletrostáticos ou uma combinação destes com lavadores de gases	S - 2 N - 1	Lavadores de gases Precipitadores eletrostáticos	S - 5	Lavadores de gases Precipitadores eletrostáticos

Fonte: Autora

Nota: S = Sim. N = Não. NA = Não Aplicável à estrutura/ processo da empresa

As técnicas de Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a atmosfera, Utilização de precipitador eletrostático (ESP) e Monitoramento das emissões para o ar são aplicadas em todas as empresas de ambos os grupos. Na BAT de emissão de poeiras, a técnica de utilização de precipitadores eletrostáticos ou uma

combinação destes com lavadores de gases é aplicada em todas as empresas do Grupo 2 e na maioria das empresas do Grupo 1. A técnica Combinação de ESP e depurador úmido da BAT Emissões de pó das caldeiras de recuperação foi aplicada na minoria das empresas de ambos os grupos. Sendo assim, foi evidenciado que o Grupo 2 aplicou mais BATs e tecnologias ambientais do que o Grupo 1.

Além das tecnologias identificadas algumas tecnologias citadas em entrevistas não puderam ser associadas às BATs. A implantação de chaminés altas aumenta a dispersão das emissões evitando impactos à comunidade. A tecnologia de detectores de H<sub>2</sub>S mapeia fontes fugitivas e a tecnologia de Medição de CO<sub>2</sub> tem como objetivo calcular o CO<sub>2</sub> emitido a partir do lançamento da quantidade de óleo 3A e 1A e da quantidade de gás natural usada em forno e caldeira. Todas estas tecnologias foram citadas em entrevistas com empresas do Grupo 2. Já a tecnologia de cortina de vento aplicado apenas por uma empresa no Grupo 1, por exemplo, evita que cavacos e serragens sejam levados a comunidade.

As principais BATs e técnicas que impactam no odor são: emissões de odor proveniente do sistema de águas residuais, monitorando parâmetros-chave do processo, monitoramento das emissões para o ar, redução das emissões em gases fortes e fracos odoríferos, medidas para reduzir as emissões de S difusas, monitoramento das emissões difusas de TRS, emissões de TRS das caldeiras de recuperação, emissões de TRS proveniente de fornos de cal, monitoramento das emissões para o ar e redução das emissões em gases fortes e fracos odoríferos. As BATs, técnicas e tecnologias para Odores são apresentadas no Quadro 54.

Quadro 54 - Resumo da BAT Emissões de Odor Proveniente do Sistema de Águas residuais e suas Tecnologias

Técnicas	Comparativo de Grupos			
	Grupo 1		Grupo 2	
	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Dimensionamento dos processos, das existências e dos reservatórios de água, condutas e caixas de modo a evitar tempos de retenção prolongados, zonas mortas ou zonas de mistura insuficiente nas redes de água e unidades conexas.	S -2 N - 1	ETE	S - 5	ETE
Utilizar biocidas, dispersantes ou agentes oxidantes para o controle dos odores e da decomposição biológica.	S - 1 N - 2	ETE	S - 0 N - 4 NA - 1	-
Instalar processos de tratamento internos para reduzir a concentração de matéria orgânica e, conseqüentemente, os possíveis odores na rede.	S - 0 N - 3	-	S - 2 N - 2 NA - 1	ETE

Técnicas	Comparativo de Grupos			
	Grupo 1		Grupo 2	
	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Instalar sistemas de efluentes fechados com respiradouros controláveis; em certos casos, utilizar produtos químicos para reduzir a formação de sulfeto de hidrogênio e promover a sua oxidação nos sistemas de efluentes.	S - 0 N - 3	-	S - 0 N - 4 NA - 1	-
Evitar o sobre arejamento nos tanques de equalização, garantindo, contudo, uma homogeneização suficiente.	S - 2 N - 1	ETE	S - 5	ETE
Garantir uma capacidade de arejamento e uma homogeneização suficientes nos tanques de aeração; inspecionar regularmente o sistema de arejamento.	S - 3	ETE	S - 5	ETE
Garantir o funcionamento adequado do sistema de coleta de lodos, do clarificador secundário e do sistema de bombeamento da recirculação de lodos.	S - 2 N - 1	Secagem de lodo	S - 5	Secagem de lodo
Limitar o tempo de retenção de lodos nos tanques de armazenagem, mediante o envio contínuo das mesmas para as unidades de desidratação.	S - 2 N - 1	Secagem de lodo	S - 5	Secagem de lodo
Evitar a armazenagem das águas residuais nas bacias de derrames durante mais tempo do que o necessário; manter as bacias de derrames vazias.	S - 3	ETE	S - 5	ETE
Se forem utilizados secadores de lodos, tratar os gases de exaustão da secagem térmica de lodos por lavagem e/ou biofiltração	S - 1 N - 2	Secagem de lodo	N - 2 NA - 3	Secagem de lodo
Evitar a utilização de torres de refrigeração para as águas residuais não tratadas, recorrendo a placas permutadoras de calor.	S - 2 N - 1	ETE	S - 2 N - 3	ETE

Fonte: Autora

Nota: S = Sim. N = Não. NA = Não Aplicável à estrutura/ processo da empresa

As técnicas de capacidade de aeração, evitar a armazenagem das águas residuais nas bacias de derrames, monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a atmosfera, sistemas de coleta de gases mal odorosos de alta e baixa concentrações, incineração em caldeira de recuperação, incineração numa caldeira de biomassa, um forno de cal ou um queimador específico para gases TRS, aumento do teor de sólidos secos da licor negro, combustão otimizada, lavagem de gases, controle do excesso de oxigênio, incineração de gases não condensáveis e registo da indisponibilidade do sistema de incineração são aplicados em todas as empresas de ambos os grupo, sendo as principais tecnologias aplicadas a secagem do lodo e a ETE.

As BATs, técnicas e tecnologias para emissão de odores provenientes de outras fontes são apresentadas no Quadro 55.

Quadro 55 – Resumo das BATs, técnicas e tecnologias para emissão de odores provenientes de outras fontes.

BAT	Técnicas	Comparativo de Grupos			
		Grupo 1		Grupo 2	
		Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Redução das emissões em gases fortes e fracos odoríferos	Sistemas de coleta de gases mal odorosos fortes e fracos	S - 3	Sistema de captura de gases Sistema de Backup para a queima	S - 5	Deteção de dióxido de cloro Sistema de captura de gases Sistema de Backup para a queima
Medidas para reduzir as emissões de S difusas	Incineração numa caldeira de recuperação	S - 3	Queima de gases na caldeira de recuperação	S - 5	Queima de gases na caldeira de recuperação
	Lavagem de gases	S - 2 N - 1	Lavadores de gases	S - 4 N - 1	Lavadores de gases
Emissões de TRS das caldeiras de recuperação	Aumento do teor de sólidos secos do licor negro	S - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental
	Combustão otimizada	S - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental
	Lavagem de gases	S - 3	Lavadores de gases	S - 5	Lavadores de gases
Emissões de TRS proveniente de fornos de cal	Controle do excesso de oxigênio	S - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 5	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental
	Controle do teor de Na <sub>2</sub> S de lodos de cal de alimentação	S - 3	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental	S - 3 N - 2	Alteração de processos de produção com melhoria no desempenho ambiental
	Combinação de um precipitador eletrostático e de um lavador de gases com meio alcalino	S - 1 N - 2	Lavadores de gases	S - 2 N - 3	Lavadores de gases
Redução das emissões em gases fortes e fracos odoríferos	Incineração de gases não condensáveis concentrados e diluídos em caldeiras de recuperação, fornos de cal, queimadores específicos de gases não condensáveis (TRS) com lavadores de gases e caldeiras auxiliares.	S - 3	Queima de TRS concentrado Queima de gases na caldeira de recuperação Lavadores de gases	S - 5	Lavadores de gases
	Registo da indisponibilidade do sistema de incineração e de quaisquer emissões resultantes	S - 3	Queima de TRS concentrado	S - 5	Deteção de dióxido de cloro

Fonte: Autora

Nota: S = Sim. N = Não. NA = Não Aplicável à estrutura/ processo da empresa

A técnica de lavagem de gases é aplicada na maioria de empresas de ambos os grupos. As técnicas de utilização de biocidas dispersantes, instalação de processos de tratamento interno para reduzir a concentração de matéria orgânica, instalação de sistema de efluentes fechados com respiradouros, Combinação de um precipitador eletrostático e de um lavador de gases com meio alcalino, tratamento de gases em exaustão da secagem térmica de lodos não são aplicados ou são aplicados em minoria em ambos os grupos. As técnicas de Dimensionamento dos processos, evitar sobre arejamento, funcionamento do sistema de coleta, limitar tempo de retenção de lodos e monitoramento de TRS são aplicados na totalidade das empresas do Grupo 2 e na maioria das empresas do Grupo 1. A técnica de Controle do teor de Na<sub>2</sub>S de lodos de cal de alimentação é aplicada na totalidade das empresas do Grupo 1 e na maioria das empresas do Grupo 2. As técnicas Evitar a utilização de torres de refrigeração para as águas residuais não tratadas, monitorar NH<sub>3</sub> são aplicadas na maioria das empresas do Grupo 1 na minoria do Grupo 2. Sendo assim, o Grupo 2 aplica mais técnicas BAT e tecnologias ambientais do que o Grupo 1.

As BATs, técnicas e tecnologias para monitoramento de emissão de odores provenientes de outras fontes são apresentadas no Quadro 56.

Quadro 56 - Resumo da BAT de monitoramento (odor)

BAT	Técnicas	Comparativo de Grupos			
		Grupo 1		Grupo 2	
		Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos	Aplicação BAT	Tecnologias/ Equipamentos
Monitorando parâmetros-chave do processo	Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a atmosfera	S - 3	Rede de percepção de odores	S - 5	Detectores de odores na saída de chaminé Estação de monitoramento da qualidade do ar Rede de percepção de odores Ferramenta de gestão (IPA)
Monitorando as emissões para o ar	NH <sub>3</sub> (amoníaco)	S - 2 N - 1	Estação de monitoramento da qualidade do ar Rede de percepção de odores	S - 0 N - 5	
Monitorando as emissões difusas de TRS	Incineração numa caldeira de recuperação, um forno de cal ou um queimador específico para gases TRS	S - 3	Queima de gases na caldeira de recuperação Estação de monitoramento da qualidade do ar	S - 5	Queima de gases na caldeira de recuperação Estação de monitoramento da qualidade do ar
Monitorando emissões para o ar	TRS (incluindo H <sub>2</sub> S)	S - 2 N - 1	Sistema de captura de gases	S - 5	Detectores de odores na saída de chaminé Estação de monitoramento da qualidade do ar Sistema de captura de gases

Fonte: Autora

Nota: S = Sim. N = Não. NA = Não Aplicável à estrutura/ processo da empresa

As técnicas de monitoramento, dos parâmetros que podem gerar odor, aplicadas em todas as empresas de ambos os grupos são: Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a atmosfera, com a tecnologia de rede de percepção de odores, Detectores de odores na saída de chaminé, Estação de monitoramento da qualidade do ar; e Incineração numa caldeira de recuperação, um forno de cal ou um queimador específico para gases TRS, com as tecnologias de Queima de gases na caldeira de recuperação, Estação de monitoramento da qualidade do ar. O monitoramento de TRS é aplicado por todas as empresas do Grupo 2 e pela maioria das empresas do Grupo 1 utilizando sistema de captura de gases, detectores de odores e Estação de monitoramento da qualidade do ar. Por fim, o monitoramento de NH<sub>3</sub> do Grupo 1 pode ser feito aplicando como tecnologia Estação de monitoramento da qualidade do ar e a Rede de percepção de odores. As BATs de monitoramento são aplicadas tanto em empresas do Grupo 1 quanto em empresas do Grupo 2.

Com relação às tecnologias não relacionadas à BAT, a tecnologia de Dessulfurização é aplicada apenas no Grupo 1 e reduz o enxofre consumido sem precisar fazer *make up* de sulfeto de sódio e Redução de metano como gás de efeito estufa. Já o Grupo 2, aplica a Impregnação de cavaco com vapor limpo para a redução do odor proveniente do enxofre do vapor flash utilizado no silo de cavaco.

As BATS que não foram classificadas de acordo com os parâmetros de indicadores estabelecidos foram gases de efeito estufa e a processos. Com relação a gases do efeito estufa, as principais tecnologias são Sequestro de CO<sub>2</sub> com emissão zero, aplicada no Grupo 2. Com relação a processos, a Alteração de processo, principalmente na etapa de branqueamento com dióxido de cloro foi aplicado em empresas nos dois grupos. As alterações do processo produtivo, com etapas de processo de pré-branqueamento, foram mencionadas apenas em entrevistas do Grupo 1 enquanto que Alteração do processo para não utilização do Ozônio e a Revisão dos equipamentos na parada geral foram mencionados nas entrevistas do Grupo 2.

De forma semelhante ao estudo de efluentes, foi realizada pesquisa sobre os principais parâmetros legais para a identificação dos mais restritivos. Este levantamento é apresentado no APÊNDICE C. Com base nas entrevistas e nos relatórios de sustentabilidade foram identificados indicadores de emissões a serem comparados com os parâmetros mais restritivos. Um resumo das médias e parâmetros mais restritivos relacionados a emissões é apresentado no Quadro 57.

Quadro 57 - Médias e Parâmetros Restritivos de Emissões

<b>Classificação</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Media G1</b>	<b>Media G2</b>	<b>Restritivo</b>
Emissões Tóxicas	SOX	505,35	90,27	100
	NOX	1547,39	1623,67	940
	Material Particulado	394,40	423	700
Odor	TRS	3,41	33,7	15

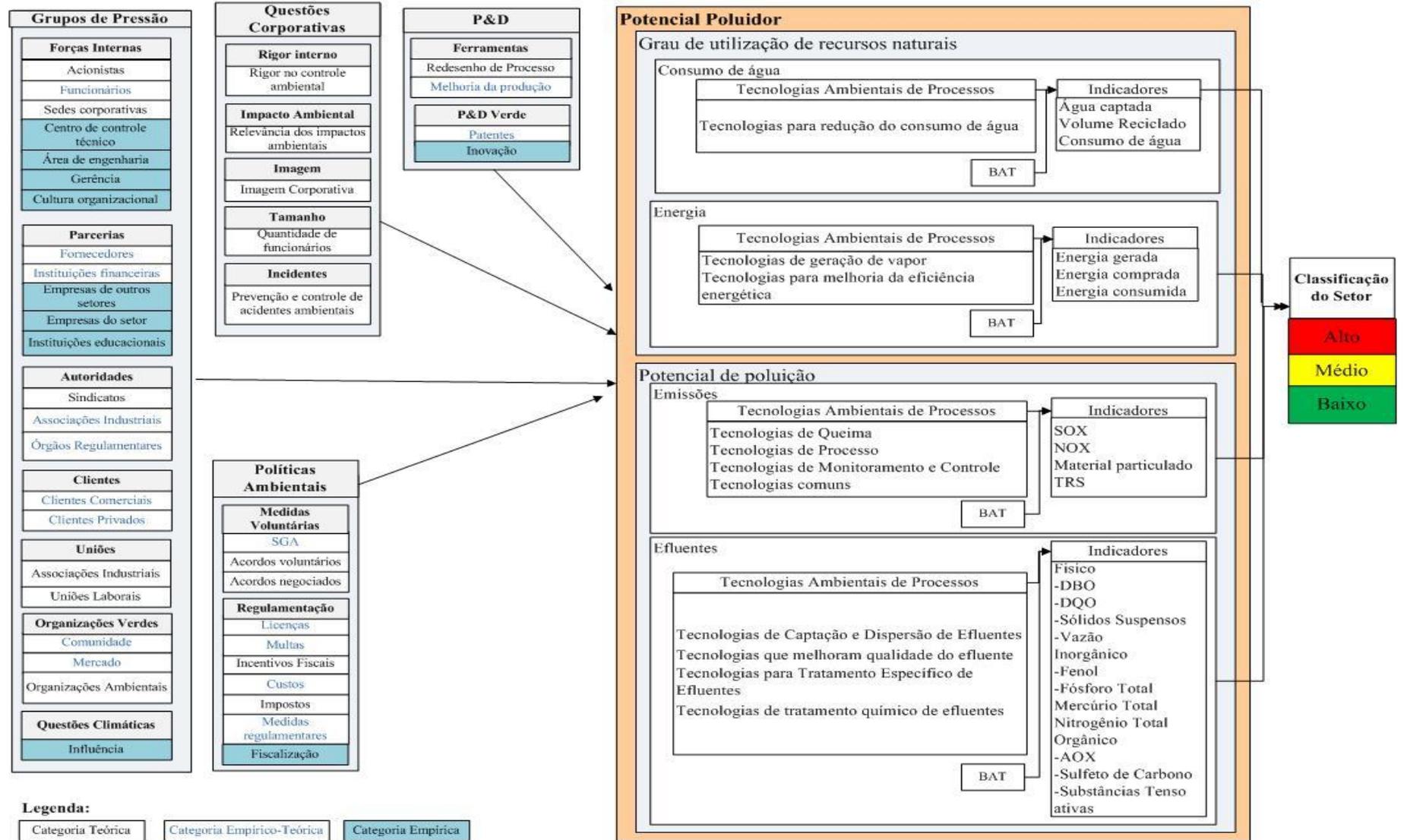
Fonte: Autora

No indicador de poluente gasoso SOX, como o parâmetro mais restritivo da legislação foi identificado o valor de 100, apenas a média do Grupo 2 estaria atendendo a legislação. Com relação ao indicador NOX, ambos os grupos estariam fora dos parâmetros restritivos da legislação. Com relação a material particulado, ambos os grupos possuem média menor que o parâmetro restritivo de 700. Com relação a odor, o principal indicador envolve o TRS (Enxofre Reduzido Total). O Grupo 1 possui média muito inferior ao estabelecido pela legislação, enquanto que o Grupo 2 possui maior média ultrapassando o parâmetro mais restritivo.

## 5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A decisão pela implantação de uma inovação ambiental depende de diversos possíveis determinantes (RENNINGS et al., 2006; KEMP; PONTOGLIO, 2011). De acordo com o estudo desenvolvido as principais categorias de determinantes foram Grupos de Pressão (FRONDEL; HORBACH; RENNING, 2008; LEE; MIN, 2015; NOAILLY; RYFISCH, 2015), Questões corporativas (FRONDEL; HORBACH; RENNING, 2008; KEMP; PONTOGLIO, 2011), Políticas ambientais (RENNINGS et al., 2006; KEMP; PONTOGLIO, 2011; FRONDEL; HORBACH; RENNING, 2008; AHUJA et al., 2019) e P&D (KEMP; ARUNDEL, 1998; KEMP; FOXON, 2007b). As categorias de determinantes da inovação ambiental atuam no potencial poluidor (CONAMA, 1997; BRASIL, 1981; BRASIL, 2000) das empresas, incentivando a utilização das melhores práticas BAT (SUHR et al., 2015; SILVO et al., 2005) e das tecnologias ambientais de processos para a redução dos indicadores de GU e PP (BRASIL, 2000; CONAMA, 1997), permitindo a classificação do setor em estudo em Baixo, Médio e Alto (MARTINS; OLIVEIRA, 2009). O grau de redução do consumo de recursos naturais está relacionado ao consumo de água e energia (OLUNIYI, 2014) enquanto que o potencial de poluição está relacionado a efluentes e emissões (KIVIMAA; KAUTTO, 2010; PAJUNEN et al., 2012). Os indicadores (LI et al., 2016) referentes ao consumo de água são impactados pela utilização das tecnologias para redução do consumo de água (LI et al., 2016; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). Os indicadores de energia (CARVALHO, 2005; LIN; ZHENG, 2017; FEI; LIN, 2016) são influenciados pelas tecnologias relacionadas a geração de calor (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019) e para melhoria da eficiência energética (COOREMANS; SCHONENBERGER, 2019; FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019). Os indicadores relacionados a emissões (SUHR et al., 2015) são impactados pelas tecnologias ambientais (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008) relacionados a contaminação do ar, odor e gases do efeito estufa (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013; SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008). Por fim, os indicadores relacionados a efluentes (LI et al., 2016; CARVALHO, 2005; STYLES et al., 2009) são influenciados pelas tecnologias de tratamento de efluentes (SUHR et al., 2015; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; CHEN et al., 2012; ALDA, 2008; GÖNDER; ARAYICI; BARLAS, 2011). Com base no Modelo de Análise proposto na Figura 8 e nos dados encontrados em entrevistas, foi adaptado o novo modelo com dados encontrados na pesquisa e na revisão de literatura, na Figura 11.

Figura 11 - Modelo de Análise final



Fonte: Autora

No modelo, as categorias são classificadas em: Categoria teórica, identificada na literatura; Categoria Empírico-teórica, identificada na literatura e confirmada na pesquisa; e Categoria Empírica, identificada na pesquisa.

Na Categoria Grupos de Pressão as Subcategorias são Forças Internas, Parcerias, Autoridades, Clientes, Uniões e Organizações Verdes.

As forças internas têm como principais elementos Acionistas, Funcionários e Sedes Corporativas (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008). Em entrevistas realizadas, além do elemento funcionário, foram evidenciados, o Centro de Tecnologia e Controle Técnico que, além das funções de monitoramento, apoiam a busca de novas tecnologias; a Área de Engenharia que, além de desenvolver projetos, também avalia riscos e viabilidade de investimentos tecnológicos; Gerência, cujo papel tem sido fundamental no estabelecimento de metas e direcionamento das questões ambientais; e Cultura Organizacional, incentivando os funcionários no direcionamento em prol das questões ambientais, gerada dentre outros por experiências negativas. Não foram, no entanto, mencionados os elementos Acionistas e Sedes Corporativas em nenhuma das entrevistas das empresas.

A subcategoria Parcerias tem como elementos encontrados na literatura Fornecedores e instituições financeiras (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008). Além destes, os novos elementos identificados foram: Empresas de outros setores, cujas soluções podem ser viabilizadas na indústria de celulose e papel, além de possíveis acordos relacionados a resíduos e insumos; Empresas do Setor, que permitem benchmarking das soluções encontradas e Instituições educacionais, que possibilitam a disponibilização de dados para pesquisa trazendo ganhos para as instituições e as empresas pesquisadas, mesmo que em parceria informal.

A Subcategoria Autoridades tem como elementos Sindicatos, associações Industriais e Órgãos Regulamentadores (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; LEE; MIN, 2015). Destes, apenas o elemento sindicatos não foi mencionado e nenhum outro elemento foi inserido nesta subcategoria permanecendo apenas as associações industriais e os órgãos regulamentadores. Com relação a órgãos reguladores, foi citado em ambos os grupos a questão da fiscalização e do reporte de relatórios e indicadores ambientais.

A subcategoria Clientes tem como elementos os clientes comerciais e privados (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008), sendo ambos mencionados em entrevista. Dentre os resultados citados destacam-se a pressão de mercado, a concorrência internacional e o atendimento aos padrões da comissão europeia.

As Uniões têm como principais elementos as associações industriais e as uniões laborais (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008). Em entrevistas, apenas as Associações Industriais foram mencionadas em entrevista, em detrimento do elemento Uniões Laborais que não foram mencionados em função do escopo da pesquisa.

A subcategoria organizações verdes tem como elementos Comunidade, Mercado e Organizações ambientais (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; NOAILLY; RYFISCH, 2015). Destes, apenas os elementos Comunidade e Mercado foram evidenciados em entrevista como forma de pressão para implantação de novas tecnologias, não sendo mencionado o elemento Organizações ambientais.

Por fim, a subcategoria Questões climáticas foi acrescentada ao estudo, tendo como principal elemento a influência por ela gerada, no âmbito territorial. Apesar de não ter sido encontrado na literatura esta subcategoria como determinante de inovação, ele foi citado para possíveis cálculos relacionados a poluição atmosférica (SELEGEI; FILONENKO; LENKOVSKAYA, 2015), sendo então necessária a utilização de tecnologias para a melhoria do desempenho ambiental. Todos os elementos identificados na categoria Grupos de Pressão tiveram mais ocorrências no Grupo 2 do que no Grupo 1 evidenciando que na pesquisa realizada havia mais determinantes influenciando as empresas tecnologicamente mais inovadoras ambientalmente.

Na categoria Políticas Ambientais as principais Subcategorias são Medidas Voluntárias e Regulamentação. Os Elementos de Medidas Voluntárias são SGA, acordos Voluntários e acordos negociados (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; RENNINGS et al., 2006; KEMP; ARUNDEL, 1998; AHUJA et al., 2019). Em entrevistas foi citado em ambos os grupos o elemento SGA. Apesar de nem todas as empresas possuírem Sistema de Gestão ISO14001 certificado, todas apresentam os controles referentes ao sistema de gestão. Sendo assim, a certificação não necessariamente demonstra que a empresa tenha mais tecnologia ambiental. No entanto, a presença de Sistema de Gestão Ambiental, com a sua natureza de melhoria contínua, possibilita o uso de tecnologias nas plantas. Há outras certificações nas empresas tais como: FSC, cadeira de custódia e ISO9001. Não foram mencionados outros acordos voluntários e os acordos negociados ou contratuais. Os principais Elementos da subcategoria Regulamentação encontrados na revisão de literatura são: Licenças, Multas, Incentivos Fiscais, Custos, Impostos e Medidas regulamentares (ASHFORD; AYERS; STONE, 1985; FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; RENNINGS et al., 2006; NOAILLY; RYFISCH, 2015). Destes, foram confirmados os Elementos Licença, Multas e custos/gastos e medidas regulamentares. Foi identificado em

entrevista o elemento Fiscalização, que envolve os órgãos de controle ambiental. Para esta subcategoria não foram citados os elementos incentivos fiscais e impostos. A maioria dos elementos da Categoria Políticas Ambientais tem maior participação das empresas do Grupo 2. Em apenas dois elementos a maior participação foi das empresas do Grupo 1 e em dois elementos a participação das empresas de ambos os grupos foi semelhante.

Na categoria P&D, as subcategorias identificadas Ferramentas e P&D Verdes. Os Elementos relacionados à subcategoria Ferramentas são Redesenho de processo e Melhoria da produção (LEE; MIN, 2015). A Subcategoria P&D Verde tem como principal elemento as Patentes e o desenvolvimento de novas tecnologias internamente (NOAILLY; RYFISCH, 2015; OECD, 1997; KEMP; ARUNDEL, 1998; CHARTER; CLARK, 2007; KEMP; FOXON, 2007). Nessa categoria os principais elementos identificados em entrevistas foram busca de soluções específicas para a empresa, com foco em patentes, e melhoria do processo de produção. O elemento Redesenho de Processos, da subcategoria ferramentas, não foi evidenciado em entrevista, uma vez que o processo de produção da pasta de celulose não sofre grandes variações, sendo estas mais específicas a área ambiental. O Elemento de Busca de Soluções teve uma maior participação das empresas do Grupo 2 enquanto que o Elemento de Melhoria da Produção foi mais identificado nas empresas do Grupo 1. O elemento Inovação foi citado por empresas de ambos os grupos.

Não foram mencionados, nas entrevistas, nenhuma das subcategorias da categoria Questões Corporativas: Imagem Corporativa (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; KEMP; PONTOGLIO, 2011), Incidentes tem como elemento a prevenção e controle de acidentes ambientais (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; KEMP; PONTOGLIO, 2011); Tamanho tem como elemento a quantidade de funcionários (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; KEMP; PONTOGLIO, 2011); Rigor Interno tem como Elemento Rigor no controle ambiental (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; KEMP; PONTOGLIO, 2011); e Impactos ambientais (FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2008; KEMP; PONTOGLIO, 2011).

## 5.1 GRAU DE UTILIZAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS: ENERGIA

Dentre as tecnologias encontradas nas entrevistas sobre energia, destacam-se Queima de biomassa (KIVIMAA; KAUTTO, 2010; SUHR et al., 2015) e Queima de licor na caldeira de recuperação (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016) para gerar calor; queima de hidrogênio em forno de cal (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016; KIVIMAA; KAUTTO,

2010; FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010); utilização de fontes não renováveis (KIVIMAA; KAUTTO, 2010; AHMADOV; BORG, 2019; FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010) tais como: diesel, gás, metanol (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016) e tecnologias de secagem tais como secagem do lodo e tecnologia para secagem da pasta de celulose. No entanto, muitas vezes faz-se necessária, além dos equipamentos comuns tais como termo compressores e turbina de geração de energia (SUHR *et al.*, 2015), a utilização de equipamentos mais eficientes no processo para a possibilidade de uma maior fonte de calor (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010) tais como equipamentos com baixo consumo de energia, sistema de cozimento com economia de energia, utilização de equipamento com inversor de frequência e equipamento eficiente para cozimento de cavaco, que são utilizados no processo das empresas de ambos os grupos.

Algumas soluções possuem foco nos processos (OLUNIYI, 2014) ou no projeto da planta. São alterações nos processos de produção com ganho ambiental, organização de estrutura de geração de energia envolvendo energia elétrica, térmica e gás e transferência de vapor entre linhas de produção para um melhor atendimento energético da planta ou novos projetos de melhoria de desempenho ambiental tais como a construção de prédio considerando luminosidade natural. Apesar destas tecnologias também não estarem associadas a nenhuma BAT, elas são responsáveis pela redução de consumo de energia e melhorando a eficiência energética da planta.

Das tecnologias evidenciadas, algumas compõem as melhores práticas disponíveis (BAT) na indústria de celulose. A melhoria do desempenho ambiental ocorre dentre vários fatores pela aplicação também destas BATs. São três as principais BATs relacionadas a energia: Consumo e eficiência energética, consumo de energia e eficiência energética (SUHR *et al.*, 2015). Na primeira BAT, que trata dos conceitos gerais de energia, com o agrupamento das tecnologias, foi evidenciado que a quantidade de tecnologias aplicadas pelo Grupo 2 é maior que a quantidade de tecnologias aplicadas pelo Grupo 1 sendo as tecnologias comuns: Utilização dos centros de controle, queima de biomassa, queima de licor, turbina, termo compressores, secagem de lodo e equipamentos com inversor de frequência. Na BAT de consumo de energia as últimas quatro técnicas apresentaram praticamente as mesmas tecnologias em ambos os grupos. Apesar da atuação semelhante das empresas dos dois grupos, o Grupo 2 apresentou maior quantidade de tecnologias aplicadas. Por fim, as técnicas da BAT Eficiência Energética são aplicadas em todas as empresas de ambos os grupos, com as mesmas tecnologias. Sendo assim, foi evidenciado caldeira de recuperação, queima de licor, turbinas, equipamentos de baixo consumo e alteração de processos de produção que

geram melhoria no desempenho ambiental são as tecnologias comuns nas indústrias do setor de celulose e papel independentemente da idade da instalação.

A literatura mostra que as principais fontes de energia não renováveis são carvão, gás natural, petróleo e a energia nuclear (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; AHMADOV; BORG, 2019), no entanto nenhuma destas fontes foi citada em entrevista. Por outro lado, as fontes de energia renováveis identificadas em literatura foram a energia hídrica, geotérmica, solar, eólica e biomassa (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010), sendo esta última fonte citada em todas as empresas estudadas.

Alguns casos de tecnologias apresentados pela literatura também foram analisados quanto à aplicabilidade em indústrias brasileira. A gaseificação de licor negro, para eletricidade e para transporte de combustível, bem como a gaseificação de biomassa e extração de lignina (KIVIMAA; KAUTTO, 2010) não são utilizadas nas empresas. A maioria das empresas utilizam os subprodutos da produção de celulose, biomassa e licor, em queima direta para a geração de energia.

De forma similar, as tecnologias de pré-tratamento tais como pré-tratamento de micro-ondas, pré-tratamento químico com ácido oxálico e pré tratamento biológico (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016), utilizados para minimizar o consumo de combustível e energia também não aplicados nas empresas estudadas não sendo encontradas tecnologias que possam substituir as soluções apresentadas na literatura.

Já nas tecnologias de polpação emergentes, a tecnologia de recuperação química é utilizada em algumas empresas, mas não sob o ponto de vista energético e sim para evitar gastos excessivos com produtos químicos. Outras tecnologias tais como processamento direcionado de utilização de licor verde, concentração de membrana de licor negro, caldeira de recuperação de reaquecimento de pressão dupla, lavagem do ciclo de vapor, fracionamento de papel reciclado e Deinking spray de surfactante (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016) não foram identificadas nas entrevistas com as unidades em estudo.

Com relação às tecnologias de membrana a microfiltração (MF), ultra filtração (UF), nano filtração (NF) e osmose inversa (OI) (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016) identificadas na literatura não foram apresentadas nas entrevistas. Já com relação às tecnologias de lavagem, as principais são lavagem de tambor, lavagem por difusão, lavagem por prensa, lavagem por deslocamento, lavagem por correia e lavagem por diluição / extração (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016) sendo a lavagem de tambor aplicada em algumas plantas, mas com o intuito de redução no consumo de água e não relacionado à questão de energia.

Como a maior parte das indústrias pesquisadas é autossustentável, compram a menor quantidade possível de energia e, em contrapartida, geram mais energia (FRONK; NEAL; GARIMELLA, 2010; COOREMANS; SCHONENBERGER, 2019; OLUNIYI, 2014) com base nas tecnologias e alterações de processos com ganho ambiental. Para fins de estudo, os principais indicadores (CARVALHO, 2005) utilizados foram energia gerada (MWh/tsa), Energia comprada (MWh/tsa) e Energia consumida (MWh/tsa). O indicador de energia gerada na unidade teve seu maior valor relacionado a média do Grupo 2 sendo maior que a média do Grupo 1 em 16%. Com relação à energia, comprada, o padrão do Grupo 2 é menor que o padrão do Grupo 1 em torno de 74 % uma vez que a maior parte das empresas do Grupo 2 não possuem contratos fixos com as concessionárias e utilizam energia comprada apenas em casos de parada ou emergenciais. Com relação à energia consumida, a média do Grupo 2 é em torno de 13 % menor do que a média do grupo, evidenciando que em termos gerais se gasta menos energia nas indústrias com mais tecnologia. Sendo assim, as empresas do Grupo 2 possuem um melhor desempenho ambiental nos três indicadores de energia do que as empresas do Grupo 1 evidenciando que, na área de energia, empresas que ambientalmente inovam mais tem melhor desempenho ambiental. A diferença entre os indicadores de energia gerada e energia consumida dos grupos são menores uma vez que as indústrias antigas têm utilizado a mesma base de geração de energia que é a queima de licor e de biomassa, ficando essa diferença por conta de fontes energéticas secundárias. Por outro lado, indústrias antigas tendem a ter contratos fixos de consumo com as concessionárias, diferente das empresas do Grupo 2 que costumam comprar energia apenas em casos emergenciais.

## 5.2 GRAU DE UTILIZAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS: ÁGUA

A indústria de celulose consome muita água doce para a manutenção de seus processos (BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; GÖNDER; ARAYICI; BARLAS, 2011; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). De acordo com a literatura, algumas tecnologias foram identificadas como importantes para a redução do consumo de água: sistema de utilização única, sistema de circulação de água, sistema de cascata, sistema de reutilização de água (LI et al., 2016; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). O sistema de circulação de água, como circuito fechado, foi identificado em ambos grupos e teve com principais resultados redução da perda de água captada na evaporação para 20%, com devolução em torno de 80% da água captada; redução no consumo de água e

reaproveitamento de água de lavagem e de branqueamento. O Sistema de reutilização da água, como circuito semiaberto de recirculação, foi identificado apenas no grupo das empresas novas e teve como principal resultado a reutilização de parte da água.

As tecnologias ambientais para minimizar o consumo de água dependem do sistema de captação e utilização da água: o sistema de captação (SUHR et al., 2015) pode ser ilustrado pela captação de água pluvial por bombas; o sistema de circulação de água (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; LI et al., 2016) tem como principais tecnologias circuito fechado de água, circuito semiaberto de recirculação e sistema de resfriamento de água em sistema fechado; o sistema de reutilização de água (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; LI et al., 2016) tem como tecnologias lavagem de polpa utilizando condensado, reaproveitamento da água de bomba de selagem, sistema de contra lavagem e tecnologias específicas para reuso de água; e o sistema de tratamento (SUHR et al., 2015) e reaproveitamento (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; LI et al., 2016) tem como tecnologias identificadas ETAC e o *Densadeg*, que retira sólidos por meio de aplicação de químicos. Algumas tecnologias ambientais identificadas na pesquisa são, no entanto, relacionadas com processos que podem reaproveitar ou reduzir o consumo de água (SUHR et al., 2015), tais como ajuste de equipamentos de secagem, lavagem de toras por spray de água, pavimentação de pátio de madeira, sistema de recuperação de perdas e utilização de softwares de apoio ao controle de consumo. As tecnologias apresentadas em entrevistas foram citadas por mais empresas do Grupo 2 do que as empresas do Grupo 1, embora em análise das BATs tenha havido um equilíbrio na sua aplicação nos dois grupos.

Os indicadores (LI et al., 2016) selecionados para análise foram a água captada total ( $m^3$ ), o Volume Reciclado ( $m^3$ ) e o consumo de água ( $m^3/tsa$ ) das empresas pesquisadas. Em função do tópico consumo de água ser considerado basicamente um item de consumo, não foram levantados parâmetros legais para comparar com os grupos de indicadores. Segundo as empresas pesquisadas o limite de consumo de água foi estabelecido na Licença de Operação (LO) e todas as empresas atendem ao determinado pela licença. O indicador de água captada total teve a média das empresas do Grupo 2 menor do que no Grupo 1 em torno de 23%. Como análise complementar deste indicador, ao se calcular o total de água captada em  $m^3/tsa$  o Grupo 1 apresentou o resultado de média de captação em torno de  $74 m^3/tsa$  contra a média do Grupo 2 de  $26 m^3/tsa$ , confirmando o melhor desempenho ambiental do Grupo 2, neste indicador. Com relação ao indicador de volume reciclado, a média do Grupo 1 é em torno de 56% da média do Grupo 2 evidenciando que empresas mais antigas reciclam menos água que empresas mais modernas. Aprofundando a análise, calculando-se o indicador em  $m^3/tsa$ , foi

evidenciado como média do Grupo 1 o volume reciclado em torno de 76 m<sup>3</sup>/t<sub>sa</sub> enquanto que a média do Grupo 2 é em torno de 99m<sup>3</sup>/t<sub>sa</sub> confirmando que o Grupo 2 recicla mais água do que o Grupo 1. Por fim, com relação ao consumo de água por tonelada de celulose seca ao ar, a média do Grupo 2 é menor da média do Grupo 1 evidenciando que empresas que inovam utilizam menos água na produção do que empresas mais antigas. Sendo assim, de acordo com os indicadores estabelecidos as empresas do Grupo 2 possuem uma melhor média de desempenho ambiental do que as empresas do Grupo 1, em consumo de água.

### 5.3 POTENCIAL POLUIDOR: EFLUENTES

Os principais processos geradores de águas residuais nas industriais de celulose são lavagem de celulose, digestão e branqueamento (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SOLOMAN et al., 2009). As águas residuais podem ser tratadas por diversas tecnologias podendo estas ser classificadas, de acordo com as entrevistas, em tecnologias de captação e dispersão de efluentes, tecnologias que melhoram a qualidade do efluente, tecnologias para tratamento específico de efluentes e tecnologias de tratamento químico de efluentes.

As tecnologias de captação e dispersão de efluentes encontradas em entrevista são Sistema de captação de água no pátio de madeira, que encaminha a água contaminada com lignina da madeira para a ETE; tambor de descascamento e lavagem de toras, que ao lavar as toras já capta a água contaminada e encaminha para a ETE; sistema de bacias de contenção (SUHR et al., 2015), responsável por coletas emergenciais e resíduos de graxa e óleo para encaminhamento à ETE; lagoa de emergência (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SUHR et al., 2015), que permite armazenar temporariamente o efluente fora dos padrões antes de enviá-lo novamente a ETE; e o sistema de dispersão, que lança o efluente em diversos pontos para evitar possíveis impactos.

As tecnologias que melhoram a qualidade do efluente, identificados nas entrevistas, têm como objetivo evitar que a ETE seja sobrecarregada: Bacia de sedimentação (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SUHR et al., 2015), que sedimentam e recupera o efluente; Ciclonic, reduz a quantidade de fibras por depuração (SUHR et al., 2015); alterações de processos com as tecnologias de processo de pré-branqueamento e branqueamento sem cloro elementar (SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). As alterações na fabricação de celulose têm sido consideradas como alterações de

processo com melhorias ambientais, comumente citadas em algumas entrevistas. A recirculação parcial da água processual no branqueamento é possível com a alteração do processo para a utilização de Processo de branqueamento sem cloro livre, atualmente consolidado como parte do processo de produção de celulose. Essa alteração possibilita a recirculação de água e a redução do consumo de recursos naturais que foi abordado anteriormente. A alteração no processo de fabricação também inclui a inserção da fase de pré-branqueamento facilitando a aplicação das técnicas de cozimento modificado antes do branqueamento, a deslignificação com oxigênio antes do branqueamento, a reutilização de água com a lavagem fechada e eficiente de pasta crua e a extração e a reutilização dos condensados contaminados, levando a recuperação química. As tecnologias que melhoram a qualidade da água são mais presentes em empresas do Grupo 2 do que no Grupo 1.

As tecnologias, para tratamento específico, utilizadas efetivamente no tratamento de efluentes das empresas pesquisadas são: Decantadores (ALDA, 2008; BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015); Depuradores (ALDA, 2008; BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015); Lagoa de aeração (SUHR et al., 2015; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015); sistemas de lodos ativados (SUHR et al., 2015; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015); sistema de neutralização de efluentes automatizados (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015); sistema de tratamento de efluentes específicos (ALDA, 2008; BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; CHEN et al., 2012; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; GÖNDER; ARAYICI; BARLAS, 2011; SUHR et al., 2015); Sistema de grids para aeração nas lagoas aeradas e no sistema de lodos ativados (ALDA, 2008; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015), sistema de correção de pH (ALDA, 2008; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). As tecnologias aplicadas para tratamento específico são mais presentes em empresas do Grupo 2 do que no Grupo 1.

As tecnologias para tratamento químico (ALDA, 2008; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015) identificados em entrevistas são antiespumantes, que retiram a espuma do efluente antes do lançamento no rio; e controle laboratorial com análise de DQO (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; STYLES et al., 2009; LI et al., 2016), DBO (CARVALHO, 2005; STYLES et al., 2009; LI et al., 2016), condutividade (LI et al., 2016) e pH (LI et al., 2016). As tecnologias aplicadas para tratamento químico são mais presentes em empresas do Grupo 2 do que no Grupo 1.

Em análise das BATs para identificar seus impactos nos indicadores coletados, percebeu-se que as BATs sobre efluentes não impactam diretamente os indicadores finais uma vez que a BAT de armazenamento e preparação de madeira na indústria de celulose e papel ocorre no início do processo e a BAT de águas residuais e emissões para a água no processo de polpa Kraft ocorre durante o processo. No entanto, antes de despejar qualquer efluente nos rios e lagoas, faz-se necessário o seu tratamento pela Estação de Tratamento de Efluentes (SUHR *et al.*, 2015), que é uma tecnologia *end-of-pipe* (CARRILLO-HERMOSILLA; DEL RÍO; KÖNNÖLÄ, 2010; VDI, 2001; FRONDEL; HORBACH; RENNINGS, 2007). Sendo assim, as BATs de efluentes são responsáveis pela melhoria da qualidade dos efluentes antes de seu tratamento. Caso haja um aumento de produção ou uma duplicação da linha de operação haverá uma tendência de aumento da carga de efluentes necessitando para isso ajustes na ETE para atendimento as novas demandas. Neste caso, estando a capacidade da ETE comprometida, as BATs poderão apoiar o desempenho ambiental pela redução da carga de efluente a ser tratado. No entanto, caso a ETE esteja dimensionada para receber devidamente as cargas de efluentes no limite de sua capacidade, os indicadores do efluente tratado sempre estarão de acordo com os limites estabelecidos pela legislação. Com base nas BATs de efluentes pode-se observar que a maior parte das técnicas estão sendo aplicadas em empresas de ambos os grupos, sendo uma constante tanto em empresas antigas com melhorias das tecnologias ambientais, quanto em empresas mais recentes já implantadas de acordo com os novos critérios tecnológicos, seguida de algumas BATs aplicadas na maioria das empresas do Grupo 2. Apesar da preocupação em adaptar novas tecnologias às unidades antigas, as BATs e as inovações tecnológicas de processos estão mais frequentes nas empresas do Grupo 2. Desta forma pode-se concluir que, com relação a efluentes, as empresas que possuem a aplicação de BATs e implementação de inovações tecnológicas ambientais de processos possuem menor potencial de poluição.

Das tecnologias identificadas na pesquisa as que podem impactar nos indicadores de efluentes são decantadores (ALDA, 2008; BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015), depuradores (ALDA, 2008; BUYUKKAMACI; KOKEN, 2010; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015), sistema de lodos ativados (SUHR *et al.*, 2015), lagoa de aeração (SUHR *et al.*, 2015), sistema de neutralização de efluentes automatizados, sistema de tratamento de efluentes específicos (SUHR *et al.*, 2015), sistemas de grids para aspersão de oxigênio, sistema de correção de pH, tanques, torre de equilíbrio. Destas tecnologias a lagoa de aeração (SUHR *et al.*, 2015) e o sistema de lodos ativados (SUHR *et al.*, 2015) podem ser encontradas em plantas de ambos os grupos e a torre

de equilíbrio, utilizada em plantas que possuem mais de uma linha de produção, aplicada em empresa do Grupo 1. As demais tecnologias são consideradas um apoio no tratamento de efluentes e são específicas de empresas do Grupo 2. Por fim, na maioria das empresas são realizadas análises laboratoriais, sejam diárias ou periódicas, para garantir que as empresas estejam despejando efluente nos padrões estabelecidos.

De acordo com a literatura, as águas residuais podem ser também submetidas a tratamento químico, com as tecnologias de coagulação, floculação, filtração, ozonização e oxidação; tratamento físico, com as tecnologias de floculação, flotação, ultra filtração, sedimentação e eletrólise; tratamento biológico aeróbio, com as tecnologias de reator em batelada de sequenciamento; e tratamento biológico anaeróbio, com as tecnologias de reatores RLF, UASB e 158 e filtro anaeróbio (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). No entanto, essas tecnologias não foram mencionadas em entrevistas ficando estas restritas as tecnologias de Lodos ativados, lagoas aeradas, bacia de estabilização facultativa, também chamada de lagoa de emergência, e decantadores.

Nos parâmetros físicos foram avaliados os indicadores de sólidos suspensos e vazão (CARVALHO, 2005; BAI et al., 2018; STYLES et al., 2009). O indicador de Sólidos Suspensos teve como parâmetro mais restritivo a ausência de sólidos suspensos. O Grupo 1 teve como média dos indicadores o valor de 1,04 kg/tsa enquanto que o Grupo 2 teve uma média maior de 1,91 Kg/tsa. A técnica de Sólidos Suspensos Totais é aplicada em todas as empresas de ambos os grupos. O último indicador dos parâmetros físicos é o da vazão, sendo o parâmetro mais restritivo entre 25 e 50 m<sup>3</sup>/tsa. O Grupo 1 teve o indicador de uma empresa no intervalo estabelecido pelo parâmetro, um abaixo e acima dos valores estabelecidos, sendo a média do grupo 56,76 m<sup>3</sup>/tsa, acima dos parâmetros estabelecidos. O Grupo 2 teve duas empresas fora do intervalo restritivo, sendo um acima e outro abaixo. No entanto a média do Grupo 2, ficou dentro do parâmetro com o valor de 27,6 m<sup>3</sup>/tsa. Sendo assim, é possível afirmar que a aplicação das BATs, bem como suas tecnologias, melhora o desempenho ambiental sendo que o Grupo 2, possui melhor desempenho ambiental do que as empresas do Grupo 1.

Os indicadores dos parâmetros inorgânicos de poluição hídrica são Fósforo Total, Mercúrio Total e Nitrogênio Total (STYLES et al., 2009; CHEN et al., 2012). O indicador de Fósforo Total possui como parâmetro mais restritivo o valor de 1,0 mg/l P. A média do indicador no Grupo 1 é de 0,05 mg/l e a média do indicador no Grupo 2 foi 0 mg/l. A técnica de Fosforo Total da BAT Monitoramento das emissões para a água é aplicada em todas as empresas dos dois grupos. Considerando que as medias de ambos grupos estão abaixo do

valor de referência conclui-se que a aplicação das BATs pode melhorar o desempenho ambiental. Como a média do Grupo 1 é um pouco maior que a média do Grupo 2, pode-se concluir que o Grupo 2, que possui aplicação de mais tecnologias ambientais possui parâmetros melhores que o Grupo 1. O indicador de Mercúrio Total possui como parâmetro mais restritivo o valor de 0,01 mg/l Hg. A média do indicador em ambos os grupos foi 0 mg/l. O indicador de Nitrogênio Total, possui como parâmetro mais restritivo o valor de 10,0 mg/l. A média do indicador no Grupo 1 é de 1,0 mg/l e a média do indicador no Grupo 2 foi em torno de 0 mg/l. Mesmo ambos grupos estando abaixo do valor de referência, a média do Grupo 1 é um pouco maior que a média do Grupo 2 evidenciando que quanto maior a aplicabilidade de tecnologias ambientais, melhor o indicador de desempenho. De forma complementar a técnica de Nitrogênio Total da BAT de Monitoramento das emissões para a água foi aplicada na maioria das empresas de ambos os grupos mantendo-os abaixo do valor de referência.

Os indicadores dos parâmetros orgânicos de poluição hídrica são AOX, Fenol, DBO, DQO, Sulfeto de Carbono e Substâncias tóxicas ativas (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008; SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). O indicador de AOX tem como parâmetro mais restritivo da legislação ser menor que 0,20 Kg/tsa. Todas as empresas dos dois grupos aplicam a Técnica AOX da BAT Monitoramento das emissões para a água. Como ambos os grupos possuem como média de 0,04 Kg/tsa, abaixo do padrão determinado conclui-se que a aplicação da BAT pode melhorar o desempenho ambiental mantendo-o abaixo do parâmetro mais restritivo. Com relação às substâncias tóxicas ativas, o Grupo 1 possui a média de 1,6 mg/l e o Grupo 2 possui como média o valor de 0 mg/l. Apesar de ambos grupos possuírem média abaixo do padrão, o Grupo 1 apresenta a média maior que o Grupo 2. No indicador de Fenol, o parâmetro mais restritivo apresenta o valor de 0,5 mg/l. A média do indicador no Grupo 1 é de 0,03 e a média do indicador no Grupo 2 foi 0. Mesmo ambos os grupos estando abaixo do valor de referência, a média do Grupo 1 é um pouco maior que a média do Grupo 2. No indicador de DBO, apesar de uma empresa exceder o parâmetro mais restritivo de 1,5 kg/tsa, no máximo, a média das empresas do Grupo 1 foi de 1,21 kg/tsa enquanto que a média do Grupo 2 foi de 0,28 kg/tsa, sendo que nenhuma empresa do segundo grupo excedeu o parâmetro mais restritivo. Na BAT Monitoramento das emissões para água, a técnica de DBO é aplicada na maioria das empresas dos dois grupos. Com relação ao indicador DQO, o parâmetro mais restritivo estabelecia até 20 kg/tsa. Mais uma vez, apenas uma empresa do Grupo 1 excedeu este valor, sendo a média do Grupo 1 de 11,47 Kg/tsa. Já a média do Grupo 2 foi de 4,44 Kg/tsa. Apesar da média de ambos os grupos ter

sido menor que o parâmetro mais restritivo, a média do Grupo 2 foi menor que a média do Grupo 1. A técnica de DQO também é aplicada pela maioria das empresas de ambos grupos.

Ainda na BAT de monitoramento das emissões para a água (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008) há a técnica de monitoramento de metais relevantes, como por exemplo Zn, Cu, Cd, Pb, Ni, sendo aplicados em todas as empresas dos dois grupos. Também a técnica Monitoramento dos principais parâmetros de processo relevantes para as emissões para a água (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008) da BAT Monitorando parâmetros-chave do processo tem a sua aplicabilidade em todas as empresas de ambos os grupos.

Apesar da média dos grupos estar abaixo dos parâmetros restritivos, em alguns indicadores a média do Grupo 1, relacionado às empresas mais antigas da pesquisa, é maior que a média das empresas do Grupo 2, que são empresas mais modernas já construída com base nas melhores práticas. Desta forma conclui-se que empresas do Grupo 2, com projeto tecnologicamente mais recente, tem menor potencial de poluição de efluentes do que empresas que alteraram sua planta mais antiga com inovações tecnológicas de processo para melhorar seu desempenho ambiental.

#### 5.4 POTENCIAL POLUIDOR: EMISSÕES

As tecnologias ambientais de processo para tratamento de emissões podem ser classificadas, de acordo com as entrevistas, em tecnologias de queima, tecnologias de processos, tecnologias de monitoramento e controle e tecnologias comuns.

As principais tecnologias de queima têm como objetivo queimar gases para evitar que eles sejam disseminados: Queima de gases na caldeira de recuperação para melhorar o sistema de gases condensáveis (SUHR et al., 2015; SILVO; JOUTTIJÄRVI; MELANEN, 2009); Queima de lignina, para evitar a emissão de CO<sub>2</sub> (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008) ; Queima de TRS concentrado para minimizar a emissão de odores (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008); e o queimador *LowNox* na caldeira de recuperação para reduzir a emissão de NOX (SUHR et al., 2015; SOUZA, 2008). As tecnologias de queima são mais utilizadas por empresas do Grupo 2 do que por empresas do Grupo 1.

Alterações no processo de fabricação de celulose podem trazer melhoria no desempenho ambiental tais como Alteração de processo com etapa de branqueamento com dióxido de cloro, sem cloro livre ou elementar (POPP; HAFNER; JOHNSTONE, 2011), alteração do processo com etapas de processo de pré-branqueamento (SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015) e alteração do processo para não

utilização do Ozônio (SOUZA, 2008; SUHR et al., 2015). Estas tecnologias reduzem a liberação de AOX (SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015), TCF (SOUZA, 2008; SUHR et al., 2015) e emissões tóxicas (GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015). Outras tecnologias identificadas em entrevistas foram: depurador úmido (CHEN *et al.*, 2012), para reduzir as emissões tóxicas; dessulfurização (DESHMUKH et al., 2014; FAUBERT et al., 2016), para reduzir o consumo de enxofre; impregnação de cavaco com vapor limpo (SUHR *et al.*, 2015), para reduzir o odor; sistema de tratamento de condensado (SOLOMAN et al., 2009; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; SUHR et al., 2015), para minimizar odores; digestor de alta performance (SUHR *et al.*, 2015), para reduzir a liberação de NOX; e secagem de lodo (SUHR *et al.*, 2015) para reduzir o odor; implantação de cortina de ventos, implantação de chaminé com 160 metros e revisão dos equipamentos na parada geral. As tecnologias de processos são aplicadas tanto em empresas do Grupo 1 quanto nas empresas do Grupo 2.

As tecnologias de monitoramento e controle têm como objetivo identificar as emissões e possíveis vazamentos e são utilizadas basicamente nas empresas do Grupo 2. São elas: detector de dióxido de cloro, analisador e detector de chaminés, para identificar vazamentos e odores; Detector de H<sub>2</sub>S (DESHMUKH et al., 2014; FAUBERT et al., 2016), para mapear fontes fugitivas; Estação de monitoramento da qualidade do ar (VDI, 2001), para controlar emissões; Medidores de CO<sub>2</sub>, opacidade, caldeira de força, caldeira de recuperação, forno de cal (SUHR *et al.*, 2015) para monitorar NOX, SOX e material particulado; analisador de material particulado (CARVALHO, 2005; DESHMUKH et al., 2014; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; FAUBERT et al., 2016) Sistema de coleta de dados (SUHR *et al.*, 2015) para monitorar online as operações; e ferramentas de gestão para monitorar as variáveis e os padrões legais muitas vezes presentes em estações meteorológicas.

A literatura evidenciou que a identificação do potencial poluidor de uma empresa pode ocorrer com base na capacidade de dissipação de poluentes no local. Caso o Potencial Meteorológico da Capacidade Dissipativa da Atmosfera (MAPP) seja menor que 0,8, a região é uma Zona com condições favoráveis à dissipação de poluentes; caso o MAPP seja entre 0,8 e 1,2, a região é considerada uma zona de amortecimento cuja dissipação ocorre lentamente; se o MAPP for entre 1,2 e 2,4 o local é uma zona com condições desfavoráveis para a dissipação de poluentes sendo a detecção destes mais acentuada; por fim, caso o MAPP seja maior que 2,4, a região é considerada zona com condições extremamente desfavoráveis para a dissipação de poluentes, fazendo com que seja mais possível a percepção da poluição

atmosférica (SELEGEI; FILONENKO; LENKOVSKAYA; 2015). Esse tipo de cálculo normalmente é utilizado em softwares de estações meteorológicas presentes nas unidades estudadas e que permitem analisar e verificar a pertinência das reclamações da comunidade com relação a odor ou emissões tóxicas.

As tecnologias comuns são as tecnologias utilizadas nas indústrias de celulose em geral, tais como: Lavadores de gases (SUHR *et al.*, 2015), para redução de odor e neutralização de gases; precipitadores eletrostáticos (SUHR *et al.*, 2015), para redução de material particulado e controle de emissões; sistema de captura de gases e sistema de backup de queima (SUHR *et al.*, 2015), direcionadores para queima de gases e rede de percepção de odores que visa o reconhecimento do odores fora dos padrões, pela comunidade e funcionários. Estas tecnologias são utilizadas em empresas de ambos os grupos.

As técnicas e inovações que permitem a redução dos indicadores de emissões (ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; GHOSE; CHINGA-CARRASCO, 2013) para níveis abaixo dos parâmetros mais restritivos baseiam-se nas melhores práticas para prevenção de poluição aplicadas às empresas do estudo (SUHR *et al.*, 2015). Para a análise dos resultados, os dados utilizados foram coletados na pesquisa sobre BAT de emissões, tecnologias e indicadores sendo que as técnicas BAT relacionadas à NOX, SOX, material particulado e odores (CARVALHO, 2005; DESHMUKH *et al.*, 2014; ASHRAFI; YERUSHALMI; HAGHIGHAT, 2015; FAUBERT *et al.*, 2016) foram aplicadas mais em empresas do Grupo 2 do que em empresas do Grupo 1.

No indicador de poluente gasoso SOX, o Grupo 1 apresenta como média o valor de 197,58 contra a média do indicador do Grupo 2, no valor de 90,27. Como o parâmetro mais restritivo da legislação foi identificado o valor de 100, apenas a média do Grupo 2 estaria atendendo a legislação. Nos indicadores dos poluentes gasosos SOX a média do Grupo 2 é menor que a média do Grupo 1, evidenciando que para as emissões, a presença de tecnologias ambientais reduz potencial de poluição. Essa conclusão é reforçada pelo dado de que o Grupo 2 aplica mais BATs e Técnicas do que o Grupo 1. Sendo assim, empresas que aplicam mais BATs e implantam mais tecnologias ambientais tem um melhor indicador de desempenho ambiental.

Com relação ao indicador NOX, ambos os grupos estariam fora dos parâmetros restritivos da legislação. Foi observado também que no cálculo das médias dos grupos sobre as emissões de NOX, a média Grupo 1 indica menos emissões de NOX com 1547,39 toneladas contra a média do Grupo 2 que foi 1623,67. No entanto, caso o cálculo da média considere a produção de celulose nas plantas a média do Grupo 1 passa a ser 0,003 t/tsa

(toneladas por toneladas de celulose seca) enquanto que a média do Grupo 2 passa a ser 0,0013 t/tsa evidenciando que a emissão de NOX por tsa é menor no Grupo 2, que aplica mais BATs e tecnologias ambientais do que o Grupo 1.

Com relação ao indicador de material particulado, ambos os grupos possuem média menor que o parâmetro restritivo de 700 sendo a média do grupo1 de 394,40 t e a média do Grupo 2 em 423 t. Apesar de em primeira análise a média do Grupo 1 ser menor que a média do Grupo 2, se for considerada a quantidade de celulose produzida, a média do Grupo 1 será de 0,0013 t/tsa e a média do Grupo 2 será de 0,0003 t/tsa, portanto menor que a média do Grupo 1. Considerando que o Grupo 2 com menor média de emissões aplica mais tecnologias do que o Grupo 1, pode-se concluir que a aplicação de tecnologias ambientais produz um melhor desempenho ambiental.

Com relação a odor, o principal indicador envolve o TRS (Enxofre Reduzido Total). O Grupo 1 possui média de 12 t enquanto que o Grupo 2 possui média de 33,99 t. No entanto, considerando a produção, a média do Grupo 1 passa a ser 0,000068 t/tsa e a média do Grupo 2 passa a ser 0,000031 t/tsa, bem inferior a média do Grupo 1. Considerando que o Grupo 2 utiliza mais técnicas BAT e tecnologias do que o Grupo 1, conclui-se que com relação a TRS a utilização de tecnologias melhora o desempenho ambiental.

Outra opção de cálculo de potencial poluidor é através do cálculo total de emissões (CETESB, 1991) sendo considerado potencial poluidor alto se o total de emissões for maior que 0,7 t/dia; médio se a estimativa de emissões for menor que 0,7 e maior que 0,2 t/dia e baixo se a estimativa for menor que 0,2 t/dia. No entanto, nos relatórios de sustentabilidade não é evidenciado o valor total de emissões das unidades estudadas para fim de comparação.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Objetivo geral foi analisar como a inovação ambiental tecnológica de processo contribuiu para mitigar os impactos ambientais de alta significância das indústrias do setor de celulose. Os resultados mostram que as inovações ambientais nas plantas industriais melhoram o desempenho ambiental e, conseqüentemente, reduz o impacto ambiental gerado. Este trabalho permitiu um maior entendimento sobre a influência das inovações tecnológicas de processo no potencial de poluição das indústrias de celulose e papel. Em resposta à pergunta de pesquisa, as inovações ambientais aplicadas em parte do processo são responsáveis pela mitigação de impactos ambientais de alta significância do setor de celulose, sendo muitas delas tecnologias importantes para o alcance das BATs nas empresas.

### 6.1 PRINCIPAIS CONCLUSÕES

O primeiro objetivo específico estabelecido foi a identificação dos principais impactos ambientais gerados pelas indústrias do setor de celulose. Como aspectos de entrada foram identificados o consumo de energia, água e químicos, tendo como principais aspectos de saída os resíduos sólidos, as águas residuais as emissões atmosféricas, resíduos de calor e ruído. Para esse estudo foram considerados como aspectos de entrada energia e água, cujo impacto foi o consumo de recursos naturais; e como aspectos de saída as emissões e as águas residuais, cujos impactos ambientais são a poluição do ar e a poluição hídrica respectivamente.

O segundo objetivo específico foi à identificação das inovações ambientais tecnológica de processo para mitigar impactos ambientais das indústrias do setor de celulose. Devido as especificidades das inovações encontradas, foi possível classificá-las de acordo com a sua utilização. Relacionado ao Grau de Utilização de Recursos Naturais (GU) foram classificadas as tecnologias para redução do consumo de água, as tecnologias de geração de vapor e as tecnologias para melhoria da eficiência energética. Com relação ao Potencial de Poluição (PP) foram classificadas as tecnologias de captação e dispersão de efluentes, tecnologias que melhoram a qualidade do efluente, as tecnologias para tratamento específico de efluentes, as tecnologias de tratamento químico de efluentes, tecnologias de queima, tecnologias de processos de emissões, tecnologias de monitoramento e controle de emissões e tecnologias comuns.

As tecnologias identificadas em entrevistas apoiam diretamente as BAT para as indústrias do setor de celulose. Nesse estudo foram utilizadas duas BATs de efluentes com um total de 12 técnicas associadas; 19 BATs de emissões, com o total de 61 técnicas associadas; três BATs de energia com 34 técnicas associadas; e a BAT sobre consumo de água com 7 técnicas associadas, sendo a maioria delas aplicadas nas plantas mais modernas.

Para o quarto objetivo secundário foi feito o mapeamento dos parâmetros mais restritivos da legislação federal, estadual e municipal das localidades em que as plantas estão instaladas: CONAMA 382/2006, CONAMA 430/2011, CONAMA 436/2011, Decreto 8.468/176 (SP), Deliberação CECA 36/2012, CECA NT 202.R-10/1986 (RJ), FEPAM 01/2018 (RS), Portaria 05/89 (RS), Portaria SEMA 105/2011 (MA), Resolução CEPRAM 1/1974 (BA), SEMA 16/2014 (PR). Além das legislações acima foram utilizados os parâmetros BAT dos anos de 2001 e 2014.

O objetivo secundário de identificar os principais determinantes para as escolhas de inovação ambiental tecnológica de processo para mitigar impactos ambientais de alta significância das indústrias do setor de celulose. Todos os elementos identificados na categoria Grupos de Pressão tiveram mais ocorrências evidenciando que na pesquisa realizada havia mais determinantes influenciando as empresas tecnologicamente mais inovadoras. Na categoria Políticas Ambientais, os principais elementos determinantes que influenciaram na implantação das inovações foram: SGA, influência da regulamentação, fiscalização, licenças, multas, custos/ gastos, leis e órgãos de controle ambiental. A maioria dos elementos da Categoria Políticas. Na Categoria P&D, os principais elementos determinantes identificados em entrevistas foram o Elemento de Busca de Soluções, que teve uma maior participação das empresas mais jovens, e o Elemento de Melhoria da Produção, que foi mais identificado nas empresas mais antigas. Essa conclusão fortalece a conclusão de que as empresas mais modernas estão sempre buscando novas oportunidades de investir em inovações ambientais enquanto que as empresas mais antigas tendem buscar por melhorias da produção que possam trazer aumento no desempenho ambiental reduzindo a poluição e as possibilidades de acidentes ambientais.

O modelo analítico aplicado às indústrias de papel e celulose mostra que as tecnologias utilizadas pelo setor irão permitir uma alteração nos impactos ambientais relacionados à energia, emissões, efluentes e consumo de água. Estas tecnologias aplicadas em cada etapa do processo levam a redução dos indicadores de PP (Potencial de Poluição) e GU (Grau de Utilização de recursos naturais) podendo alterar sua classificação no setor de alto impacto ambiental. Pode-se notar com o modelo que além das categorias teóricas de

determinantes identificadas, e algumas confirmadas em entrevistas, foram encontradas novas categorias e subcategorias influenciadoras da inovação tais como: Forças internas, foram encontrados os centros de controle técnico, as áreas de engenharia, as gerências e a própria cultura organizacional; nas parcerias foram mencionadas empresas do setor e de outros setores e as instituições educacionais; na regulamentação foi encontrado o elemento fiscalização; e na subcategoria P&D verde foi encontrado o elemento Inovação. Estes novos elementos apoiam a redução de potencial poluidor das empresas apoiando a redução dos indicadores de GU e PP.

Plantas industriais mais modernas possuem menor potencial de poluição de efluentes do que as plantas mais antigas. Já com base nas BATs pode-se observar que a maior parte das técnicas está sendo aplicadas em empresas de ambos os grupos, sendo uma constante tanto em empresas antigas com melhorias das tecnologias ambientais, quanto em empresas mais recentes já implantadas de acordo com os novos critérios tecnológicos. Apesar da preocupação em adaptar novas tecnologias às unidades antigas, as BATs e as inovações tecnológicas de processos estão mais frequentes nas empresas mais modernas que também possuem menor média de indicadores de poluição. Desta forma pode-se concluir que, com relação a efluentes, as empresas que possuem a aplicação de BATs e implementação de inovações tecnológicas ambientais possuem menor potencial de poluição.

Nas emissões, os principais indicadores utilizados foram SOX, NOX, Material Particulado e TRS e as técnicas BAT e tecnologias organizadas de acordo com a influência nos indicadores. Todos os indicadores evidenciaram menor média do grupo das empresas mais jovens mostrando que a aplicação das tecnologias ambientais possibilitou a redução dos valores do indicador abaixo dos limites legais em alguns casos. Com base nas BATs pode-se observar que a maior parte das técnicas estão sendo aplicadas em empresas de ambos grupos, sendo um diferencial do grupo das empresas mais modernas possuir mais tecnologias aplicadas do que o grupo das empresas mais antigas concluindo que as plantas mais novas inovam mais.

Com relação a consumo de Energia, as empresas mais modernas possuem melhores valores nos três indicadores de energia do que as empresas mais antigas evidenciando que, na área de energia, empresas que inovam mais tem melhor desempenho ambiental. A diferença entre os indicadores de energia gerada e energia consumida dos grupos são menores uma vez que as indústrias antigas têm utilizado a mesma base de geração de energia que é a queima de licor e queima de biomassa, ficando essa diferença por conta de fontes energéticas secundárias tais como queimas de papel higiênico e papelão, queima de hidrogênio e

utilização de turbina e turbo geradores. Por outro lado, indústrias antigas tendem a ter contratos fixos de consumo com as concessionárias, diferente das empresas mais recentes que costumam comprar energia apenas em casos emergenciais. Apesar das BATS de Energia serem aplicadas em sua maioria pelas empresas mais antigas, as empresas mais modernas possuem uma larga participação na aplicação destas BATs com mais tecnologias do que as empresas mais antigas, justificando a pequena diferença entre as médias.

Com relação ao consumo de água, as empresas mais modernas possuem melhores indicadores relacionados ao consumo de água do que as empresas mais antigas evidenciando que as empresas mais modernas possuem um melhor desempenho ambiental neste aspecto. A diferença nos indicadores de água captada total ( $m^3$ ), Volume Reciclado ( $m^3$ ) e consumo de água ( $m^3/tsa$ ) entre os grupos é respectivamente de 23%, 56% e 16% menor no grupo das empresas mais jovens. Apesar da quantidade de BATs associadas aos grupos ser equivalentes, a quantidade de tecnologias utilizadas é maior nas empresas mais modernas do que nas empresas mais antigas, fortalecendo o cálculo pela média de indicadores.

No desenvolvimento do trabalho foram identificadas algumas questões inesperadas relacionadas à pesquisa e resultados. Com relação à pesquisa, foi evidenciada a transparência no setor com colaboração e parceria entre empresas competidoras que divulgam as melhores práticas entre si podendo permitir acesso as suas plantas para benchmarking. Ainda como resultado não esperado destaca-se o desempenho dos indicadores, a maioria muito abaixo dos requisitos legais vigentes. As implicações de não cumprir os requisitos legais incluem multa e problemas com a comunidade podendo levar desde problemas financeiros até descrédito da empresa com relação ao mercado consumidor.

Este estudo de casos múltiplos teve como contribuição teórica o entendimento de que a inovação ambiental impacta no potencial de poluição das empresas, podendo servir de suporte para análises futuras e conseqüentemente para uma nova classificação do setor, tendendo a depender dos parâmetros estabelecidos a saída do setor do grupo das empresas potencialmente poluentes. Outra contribuição teórica foi a elaboração de uma classificação das tecnologias nos grupos de análise. Relacionado ao grau de utilização dos recursos naturais podem ser agrupadas tecnologias para redução do consumo de água e, na área de energia, as tecnologias de geração de vapor e as tecnologias para melhoria da eficiência energética. Já com relação a poluição atmosférica, as tecnologias podem ser agrupadas em tecnologias de queima, tecnologias de processo, tecnologias de monitoramento e controle e as tecnologias comuns. Por fim, com relação a poluição hídrica, as categorias de agrupamento de tecnologias são: Tecnologias de captação de dispersão de efluentes, tecnologias que melhoram qualidade

do efluente, tecnologias para tratamento específico de efluentes e tecnologias para tratamento químico de efluentes. Ainda com relação à lacuna teórica, sobre cálculo de potencial poluidor, parte das pesquisas anteriores não contempla a influência da tecnologia na classificação dos setores potencialmente poluentes. No entanto, essa abordagem é necessária a partir do momento em que a melhoria do processo traz ganhos ambientais. Sendo assim, torna-se inviável classificar setores apenas com base em indicadores de consumo e emissões, sem considerar as tecnologias limpas, *end-of-pipe* e de processos aplicadas nas empresas. Esta consideração destaca-se também como contribuição para a política pública uma vez que além das variáveis de consumo e emissões, deve considerar as tecnologias de processos e ambientais como parte do cálculo do potencial poluidor. Atualmente o setor de celulose tem atuado como grande exportadora de polpa celulósica cujo mercado tem sido muito exigente com relação as questões ambientais. Desta forma, alguns indicadores contratuais exigidos acabam sendo mais restritivos do que os requisitos legais obrigando as empresas a buscar constantemente melhoria no desempenho ambiental.

As tecnologias de processos, que trazem melhorias no desempenho ambiental, permitem medições mais precisas e um maior controle do processo haja vista que a maioria das empresas visitadas possuem recentes centros de controle e das condições ambientais possibilitando ações mais assertivas em caso de desvios. Para esse controle, além dos indicadores comuns a comparação de indicadores de consumo e emissões antes e depois da implantação da tecnologia permitiria mensurar os ganhos da empresa. Em uma análise mais ampliada, a comparação com os gastos de tratamento antes e depois das tecnologias também poderia ser aplicada.

Mesmo não estando no escopo desse estudo, a questão do tratamento de resíduos foi observada como sendo uma possível tecnologia a ser considerada em algumas plantas pois além de gerar renda, possibilita a produção de novos subprodutos estimulando a economia circular, tópico a ser abordado em outros estudos.

## 6.2 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

No desenvolvimento deste trabalho, as principais limitações encontradas estavam relacionadas à falta de acessos a alguns dados específicos tais como indicadores. Em função da mudança da visão de negócio de algumas empresas pesquisadas o acesso a informações,

que muitas vezes não estavam presentes nos relatórios de sustentabilidade, tornou-se difícil sendo necessário restringir os indicadores para o cálculo final de cada tópico em análise.

A atual estimativa de potencial poluidor possui diversas limitações uma vez que é baseado em conhecimento empírico e não abrange todos os tipos de poluição, a exemplo de resíduos gerando uma interpretação equivocada entre o potencial poluidor e a poluição efetiva. Em função do critério adotado para cálculo e classificação do potencial poluidor, considerando que a atual classificação não envolve o potencial da utilização de tecnologias para mitigação de impactos ambientais.

### 6.3 RECOMENDAÇÕES

Para a continuação deste trabalho recomenda-se:

- a) Inserção de novas unidades das empresas estudadas e outras empresas elegíveis para ampliação das variáveis de estudo;
- b) Inclusão da avaliação das linhas de produção de celulose fibra longa para avaliar se o novo produto corrobora as conclusões desta tese;
- c) Estudo do tópico referente a resíduos para avaliar se acompanham às principais conclusões dos parâmetros deste estudo;
- d) Realização de cálculos e comparações com outros possíveis indicadores do estudo entre os grupos;
- e) Coleta de dados que permitam estudos longitudinais para reforço das conclusões;
- f) Buscar fontes para confirmação dos novos determinantes encontrados na pesquisa ou realizar estudos quantitativos para avaliação das relações entre inovação ambiental e o potencial poluidor.

Para um melhor complemento do estudo de energia, seria interessante a comparação de indicadores tais como: energia vendida, o consumo de energia proveniente de fontes renováveis tais como biomassa, licor e metanol e consumo de energia proveniente de fontes não renováveis tais como óleo, gás e hidrogênio. Para um melhor complemento do estudo sobre consumo de água, seria interessante a comparação de indicadores tais como: água retirada da superfície ( $m^3$ ), água subterrânea ( $m^3$ ), volume pluvial captado e volume perdido em evaporação. Por fim, para estudos futuros recomenda-se então a estruturação de uma metodologia específica para cálculo do potencial poluidor dos setores, considerando quaisquer condições que implantadas como parte do processo, ou até mesmo as tecnologias ambientais específicas, leve a uma redução de impactos ambientais como uma variável.

## REFERÊNCIAS

AHMADOV, Anar Kamil; BORG, Charlotte van der. Do natural resources impede renewable energy production in the EU? A mixed-methods analysis. *Energy Policy*, v. 126, p. 361–369, mar. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.11.044>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421518307821>. Acesso em: 10 jul. 2019.

AHUJA, Jaya *et al.* Do human critical success factors matter in adoption of sustainable manufacturing practices? An influential mapping analysis of multicompany perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 239, dez. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117981>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619328513>. Acesso em: 10 jul. 2019.

ALDA, Jesus AG Ochoa de. Feasibility of recycling pulp and paper mill sludge in the paper and board industries. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, n. 7, p. 965–972, mar. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2008.02.005>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344908000347>. Acesso em: 16 nov. 2016.

ARDITO, Lorenzo *et al.* Corporate Social Responsibility and Environmental Management Invites Contributions for a Special Issue on ‘Sustainable Innovation: Processes, Strategies, and Outcomes’. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, v. 25, p. 106–109, fev. 2018. DOI: [10.1002/csr.1487](https://doi.org/10.1002/csr.1487). Disponível em: [https://www.researchgate.net/journal/1535-3958\\_Corporate\\_Social\\_Responsibility\\_and\\_Environmental\\_Management](https://www.researchgate.net/journal/1535-3958_Corporate_Social_Responsibility_and_Environmental_Management). Acesso em: 11 jun. 2018.

ASHFORD, Nicholas A.; AYERS, Christine; STONE, Robert F. Using regulation to change the market for innovation. *Harvard Environmental Law Review*, v. 9, n. 2, p. 419–466, 1985. Disponível em: [http://heinonline.org/hol-cgi-bin/get\\_pdf.cgi?handle=hein.journals/helr9&section=19](http://heinonline.org/hol-cgi-bin/get_pdf.cgi?handle=hein.journals/helr9&section=19). Acesso em: 2 out. 2016.

ASHRAFI, Omid; YERUSHALMI, Laleh; HAGHIGHAT, Fariborz. Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. *Journal of environmental management*, v. 158, p. 146–157, ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.05.010>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715300621>. Acesso em: 16 nov. 2016.

BAI, Shunwen *et al.* Characterizing Water Pollution Potential in Life Cycle Impact Assessment Based on Bacterial Growth and Water Quality Models. *Water*, v. 10, n. 1621, p. 1–14, nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10111621>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/11/1621>. Acesso em: 23 abr. 2019.

BARDIN, Laurence. *Análise de Conteúdo*. 1. ed. São Paulo: Edições 70, 2011.

BERGQUIST, Ann-Kristin; KESKITALO, E. Carina H. Regulation versus deregulation. Policy divergence between Swedish forestry and the Swedish pulp and paper industry after the 1990s. *Forest Policy and Economics*, v. 73, p. 10–17, dez. 2016. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.07.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389934116301757>. Acesso em: 10 jun. 2018.

BÊRNI, Duilio de Avila; FERNANDEZ, Brena Paula Magno. *Métodos e Técnicas de Pesquisa: Modelando as ciências empresariais*. São Paulo: Saraiva, 2012.

BERRONE, Pascual *et al.* Necessity as the mother of ‘green’ inventions: Institutional pressures and environmental innovations. *Strategic Management Journal*, v. 34, n. 8, p. 891–909, jan. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1002/smj.2041>. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/smj.2041/full>. Acesso em: 28 maio 2016.

BEYER, Jonny *et al.* Environmental effects of the Deepwater Horizon oil spill: a review. *Marine Pollution Bulletin*, v. 110, p. 28–51, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.027>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X16304313>. Acesso em: 29 nov. 2016.

BOWONDER, B. The Bhopal incident: Implications for developing countries. *Environment & Technology*, v. 5, n. 2, p. 89–103, 1985. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02235978>. Acesso em: 29 nov. 2016.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981 (L6938/1981) - Política Nacional do Meio Ambiente. Palácio do Planalto - Presidência da República. , 1981. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L6938.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm). Acesso em: 2 nov. 2016.

BRASIL. Lei nº 7.804, de 18 de julho de 1989 (L7804/1989). Palácio do Planalto - Presidência da República. , 1989. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L7804.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L7804.htm). Acesso em: 2 nov. 2016.

BRASIL. Lei nº 10.165, de 27 de Dezembro de 2000 (L10165/2000). Palácio do Planalto - Presidência da República. , 2000. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/L10165.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L10165.htm). Acesso em: 2 nov. 2016.

BUYUKKAMACI, Nurdan; KOKEN, Emre. Economic evaluation of alternative wastewater treatment plant options for pulp and paper industry. *Science of the total environment*, v. 408, n. 24, p. 6070–6078, nov. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.045>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971000906X>. Acesso em: 16 nov. 2016.

CARRILLO, Javier; GONZÁLEZ, Pablo del Río; KÖNNÖLÄ, Totti. *Eco-innovation: when sustainability and competitiveness shake hands*. New York: Palgrave Macmillan, 2009.

CARRILLO-HERMOSILLA, Javier; DEL RÍO, Pablo; KÖNNÖLÄ, Totti. Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 10, p. 1073–1083, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652610000612>. Acesso em: 28 maio 2016.

CARVALHO, Paulo Gonzaga Mibielli de. A construção de indicadores ambientais para a indústria: potencial poluidor e intensidade do consumo de energia elétrica. *Martins, Clitia Helena Backx & Oliveira, Naia. Indicadores econômico-ambientais na perspectiva da*

*sustentabilidade - Documentos FEE n. 63*. Porto Alegre: FEE - FEPAM, 2005. p. 122. Disponível em: [www.fee.rs.gov.br](http://www.fee.rs.gov.br).

COMISSÃO EUROPÉIA. DIRECTIVA 96/61/CE. . Diretiva 96/61/CE do conselho de 24 de Setembro de 1996 relativa à prevenção e controlo integrados da poluição (JO L 257 de 10.10.1996, p. 26). , fev. 1996. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1996L0061:20060224:PT:PDF>. Acesso em: 22 abr. 2019.

CEPI. *Best Available Technique (BAT) Conclusions for the Production of Pulp, Paper and Board - Implementation guide Discussion on the BAT conclusions for the pulp and paper sector*. . [S.l.]: Confederation of European Paper Industries. Disponível em: <http://www.cepi.org/node/19413>. Acesso em: 10 jun. 2016. , ago. 2015

CETESB. Lei nº 7.641, de 19 de dezembro de 1991 - Dispõe sobre a proteção ambiental das bacias dos Rios Pardo, Moji Guaçu e Médio Grande, estabelece critérios pa-*ra* o uso e ocupação do solo nesta área e dá outras providências. CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. , 19 dez. 1991. Disponível em: [https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1991\\_Lei\\_Est\\_7641.pdf](https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/legislacao/estadual/leis/1991_Lei_Est_7641.pdf). Acesso em: 9 abr. 2019.

CHARTER, Martin; CLARK, Tom. *Sustainable Innovation*. . England: The Centre for Sustainable Design, 2007.

CHEN, Jienan *et al*. Bioaugmentation with *Gordonia* strain JW8 in treatment of pulp and paper wastewater. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 14, n. 5, p. 899–904, fev. 2012. DOI: 10.1007/s10098-012-0459-4. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10098-012-0459-4>. Acesso em: 16 nov. 2016.

CHENG, Colin CJ; YANG, Chen-lung; SHEU, Chwen. The link between eco-innovation and business performance: a Taiwanese industry context. *Journal of Cleaner Production*, v. 64, p. 81–90, fev. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.050>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261300663X>. Acesso em: 28 maio 2016.

CMPC. *Celulose Riograndense - Site da CMPC*. 2018. Disponível em: <http://cmpcceluloseriograndense.com.br>. Acesso em: 29 abr. 2019.

CNI. *Florestas e Indústria: Agenda de Desenvolvimento*. . Brasília: Confederação Nacional da Indústria, 2016. Disponível em: [http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo\\_18/2016/07/19/11466/florestas\\_e\\_industria\\_web\\_20160919.pdf](http://arquivos.portaldaindustria.com.br/app/conteudo_18/2016/07/19/11466/florestas_e_industria_web_20160919.pdf). Acesso em: 10 jan. 2017.

COENEN, Lars; LÓPEZ, Fernando J. Díaz. Comparing systems approaches to innovation and technological change for sustainable and competitive economies: an explorative study into conceptual commonalities, differences and complementarities. *Journal of Cleaner Production*, v. 18, n. 12, p. 1149–1160, ago. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.04.003>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261000140X>. Acesso em: 3 fev. 2016.

CONAMA. 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 março 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. , 2011 a. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 9 abr. 2019.

CONAMA. Resolução nº 382, de 26 de dezembro de 2006 - Estabelece os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos para fontes fixas - Publicada no DOU nº 1, de 2 de janeiro de 2007, Seção 1, página 131-137. Conselho Nacional do Meio Ambiente. , 2006. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=520>. Acesso em: 17 jun. 2019.

CONAMA. 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 - Publicada no DOU Nº 247, 26 de dezembro de 2011. Conselho Nacional do Meio Ambiente. , 2011 b. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=660>. Acesso em: 17 jun. 2019.

CONAMA. 237. . Resolução nº 237 , de 19 de Dezembro de 1997 - Sistema de licenciamento como instrumento de gestão ambiental. Conselho Nacional do Meio Ambiente. , 1997. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html>. Acesso em: 2 nov. 2016.

COOREMANS, Catherine; SCHONENBERGER, Alain. Energy management: A key driver of energy-efficiency investment? *Journal of Cleaner Production*, v. 230, p. 264–275, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.333>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619314301>. Acesso em: 11 jul. 2019.

CRESWELL, John W. *Projeto de pesquisa: metodo qualitativo, quantitativo e misto*. Porto Alegre: Artmed, 2010.

DAVILA, Tony; EPSTEIN, Marc J.; SHELTON, Robert. *As regras da inovação*. São Paulo: Pearson, 2009. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=5aj5P1sYKpAC&oi=fnd&pg=PA5&dq=As+regras+da+inova%C3%A7%C3%A3o&ots=SzKx8GMPb3&sig=S4Yx67AjJG0140WQKfleKsUS\\_yE](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=5aj5P1sYKpAC&oi=fnd&pg=PA5&dq=As+regras+da+inova%C3%A7%C3%A3o&ots=SzKx8GMPb3&sig=S4Yx67AjJG0140WQKfleKsUS_yE). Acesso em: 4 fev. 2017.

DEMAJOROVIC, Jacques; LOPES, Juliana Campos; SANTIAGO, Ana Lucia Frezzatti. The Samarco dam disaster: A grave challenge to social license to operate discourse. *Resources Policy*, v. 61, p. 273–282, jun. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.01.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420718302629>. Acesso em: 6 out. 2019.

DESHMUKH, Sharvari *et al.* Quantitative determination of pulp and paper industry emissions and associated odor intensity in methyl mercaptan equivalent using electronic nose. *Atmospheric Environment*, v. 82, p. 401–409, jan. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.041>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013007942>. Acesso em: 16 nov. 2016.

DOONAN, Julie; LANOIE, Paul; LAPLANTE, Benoit. Determinants of environmental performance in the Canadian pulp and paper industry: An assessment from inside the

industry. *Ecological Economics*, v. 55, n. 1, p. 73–84, out. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.017>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800904004057>. Acesso em: 16 nov. 2016.

EC. *DECISÃO DE EXECUÇÃO DA COMISSÃO de 26 de setembro de 2014 - Estabelece as conclusões sobre as melhores técnicas disponíveis (MTD) para a produção de pasta de papel, papel e cartão, nos termos da Diretiva 2010/75/UE do Parlamento Europeu e do Conselho*. Europa Central: European Commission, 2014. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014D0687&from=EN>. Acesso em: 17 jun. 2019.

EC. *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems - December 2001*. Europa Central: European Commission, 2001. Disponível em: [http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/cvs\\_bref\\_1201.pdf](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/cvs_bref_1201.pdf).

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. *Academy of management review*, v. 14, n. 4, p. 532–550, out. 1989. DOI: <https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385>. Disponível em: <http://amr.aom.org/content/14/4/532.short>. Acesso em: 19 jun. 2016.

ELDORADO. *Site Eldorado Brasil*. 2018. Disponível em: <http://www.eldoradobrasil.com.br>. Acesso em: 29 abr. 2019.

EP. *The Equator Principles (EP) III*. . [S.l.]: Associação dos Princípios do Equador. Disponível em: [http://www.equator-principles.com/resources/equator\\_principles\\_III.pdf](http://www.equator-principles.com/resources/equator_principles_III.pdf). Acesso em: 14 dez. 2016. , 2013

EUROPEAN UNION. *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) - Directive 2008/1/EC*. jan. 2008. European Commission. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2008/1/oj>. Acesso em: 15 fev. 2016.

FAUBERT, Patrick *et al.* Pulp and paper mill sludge management practices: What are the challenges to assess the impacts on greenhouse gas emissions? *Resources, Conservation and Recycling*, v. 108, p. 107–133, abr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344916300088>. Acesso em: 10 jun. 2018.

FEE. *Indicadores do potencial poluidor das atividades industriais de transformação e extrativas no Rio Grande do Sul - Metodologia*. . [S.l.]: Fundação de Economia e Estatística. Disponível em: [https://www.fee.rs.gov.br/wp-content/uploads/2014/02/20140523metodologia\\_pp\\_2012.pdf](https://www.fee.rs.gov.br/wp-content/uploads/2014/02/20140523metodologia_pp_2012.pdf). Acesso em: 8 abr. 2019. , 2012

FEE. *Potencial Poluidor da Indústria no RS: Análise dos Dados 2002–2009*. 2012a. Fundação de Economia e Estatística. Disponível em: <https://www.fee.rs.gov.br/indicadores/indicadores-ambientais/destaques/>. Acesso em: 8 abr. 2019.

FEI, Rilong; LIN, Boqiang. Energy efficiency and production technology heterogeneity in China's agricultural sector: A meta-frontier approach. *Technological Forecasting and Social Change*, v. 109, p. 25–34, ago. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.05.012>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162516300713>. Acesso em: 20 abr. 2019.

FEPAM. *Diretriz Técnica nº 01/2018 - Diretriz técnica que estabelece condições e os limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos a serem adotados pela FEPAM para fontes fixas e dá outras providências*. RS: Fundação Estadual de Proteção Ambiental, 2018. Disponível em: [http://www.fepam.rs.gov.br/CENTRAL/DIRETRIZES/DIRET\\_TEC\\_01\\_2018.PDF](http://www.fepam.rs.gov.br/CENTRAL/DIRETRIZES/DIRET_TEC_01_2018.PDF). Acesso em: 17 jun. 2019.

FESENKO, S. *et al.* Justification of remediation strategies in the long term after the Chernobyl accident. *Journal of environmental radioactivity*, v. 119, p. 39–47, mar. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2010.08.012>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0265931X10001992>. Acesso em: 29 nov. 2016.

FIBRIA. *Site da FIBRIA*. 2017. Disponível em: <http://www.fibria.com.br>. Acesso em: 20 abr. 2018.

FREIRE-GONZALEZ, Jaume; VIVANCO, David Font. The influence of energy efficiency on other natural resources use: An input-output perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 162, p. 336–345, set. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.050>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617312209>. Acesso em: 9 jul. 2019.

FRONDEL, Manuel; HORBACH, Jens; RENNINGS, Klaus. *Discussion Paper No. 04-82. End-of-pipe or cleaner production? An empirical comparison of environmental innovation decisions across OECD countries*. . [S.l.]: ZEW. Disponível em: <ftp://ftp.zew.de/pub/zew-docs/dp/dp0482.pdf>. Acesso em: 2 out. 2016. , 2007

FRONDEL, Manuel; HORBACH, Jens; RENNINGS, Klaus. What triggers environmental management and innovation? Empirical evidence for Germany. *Ecological Economics*, v. 66, n. 1, p. 153–160, maio 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.08.016>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800907004429>. Acesso em: 28 maio 2016.

FRONK, Brian M.; NEAL, Richard; GARIMELLA, Srinivas. Evolution of the Transition to a World Driven by Renewable Energy. *Journal of Energy Resources Technology* |, v. 132, jun. 2010. DOI: 10.1115/1.4001574. Disponível em: <https://energyresources.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1415027>. Acesso em: 10 jul. 2019.

GARCIA, Marina Faleiros. Cataguases Papel: o que aconteceu, de fato? *O Papel*, v. 65, p. 45–45, abr. 2003. .

GARCÍA-GRANERO, E.M.; PIEDRA-MUÑOZ, L.; GALDEANO-GÓMEZ, E. Eco-innovation measurement: A review of firm performance indicators. *Journal of Cleaner Production*, v. 191, p. 304–317, ago. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.215>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618312514>. Acesso em: 10 ago. 2016.

GHOSE, Agneta; CHINGA-CARRASCO, Gary. Environmental aspects of Norwegian production of pulp fibres and printing paper. *Journal of Cleaner Production*, v. 57, p. 293–301, out. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.019>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613004009>. Acesso em: 16 nov. 2016.

GIRI, B. S. *et al.* Treatment of waste gas containing low concentration of dimethyl sulphide (DMS) in a bench-scale biofilter. *Bioresource technology*, v. 101, n. 7, p. 2185–2190, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852409015375>. Acesso em: 19 jan. 2017.

GÖNDER, Z. Beril; ARAYICI, Semiha; BARLAS, Hulusi. Advanced treatment of pulp and paper mill wastewater by nanofiltration process: Effects of operating conditions on membrane fouling. *Separation and purification technology*, v. 76, n. 3, p. 292–302, jan. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2010.10.018>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586610004417>. Acesso em: 16 nov. 2016.

GONZÁLEZ, Pablo del Río. Analysing the factors influencing clean technology adoption: a study of the Spanish pulp and paper industry. *Business strategy and the environment*, v. 14, n. 1, p. 20–37, 2005. Disponível em: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bse.426/abstract>. Acesso em: 16 nov. 2016.

GOVERNO DO ESTADO (BA). *Decreto nº 14.024, de 06 de junho de 2012 - Aprova o Regulamento da Lei nº 10.431, de 20 de dezembro de 2006, que instituiu a Política de Meio Ambiente e de Proteção à Biodiversidade do Estado da Bahia, e da Lei nº 11.612, de 08 de outubro de 2009, que dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos*. 2012. Disponível em: [http://www.sucom.ba.gov.br/wp-content/uploads/2015/04/Dec\\_Estadual\\_14024\\_2012.pdf](http://www.sucom.ba.gov.br/wp-content/uploads/2015/04/Dec_Estadual_14024_2012.pdf). Acesso em: 17 jun. 2019.

GOVERNO DO ESTADO (MA). Decreto estadual nº 13.494 DE 12 de novembro de 1993 - Regulamenta o Código de Proteção do Meio Ambiente do Estado do Maranhão (Lei 5.405/92). , 1993. Disponível em: <http://www.stc.ma.gov.br/legisla-documento/?id=2601>. Acesso em: 17 jun. 2019.

GOVERNO DO ESTADO (MS). 26. . Deliberação CECA nº 36 DE 27/06/2012 - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais e estabelece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como, estabelece as diretrizes, condições e padrões de lançamento de efluentes no âmbito do Estado do Mato Grosso do Sul, e dá outras providências. , 2012. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=251067>. Acesso em: 23 abr. 2019.

GOVERNO DO ESTADO (PR). RESOLUÇÃO N ° 016/ 2014 - SEMA - Definir critérios para o Controle da Qualidade do Ar. , 2014. Disponível em: [www.legislacao.pr.gov.br](http://www.legislacao.pr.gov.br). Acesso em: 17 jun. 2019.

GOVERNO DO ESTADO (RJ). 202. . NT-202.R-10 - CRITÉRIOS E PADRÕES PARA LANÇAMENTO DE EFLUENTES LÍQUIDOS - Estabelecer critérios e padrões para o lançamento de efluentes líquidos, como parte integrante do Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras (SLAP) - Aprovada pela Deliberação CECA nº 1007, de 04 de

dezembro de 1986. , 1986. Disponível em: [http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter\\_pres\\_aspres/documents/document/zwff/mda2/~edisp/inea\\_006744.pdf](http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/@inter_pres_aspres/documents/document/zwff/mda2/~edisp/inea_006744.pdf). Acesso em: 23 abr. 2019.

GOVERNO DO ESTADO (SP). Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976 - Aprova o regulamento da Lei n.º 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. , 1976. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/>. Acesso em: 17 jun. 2019.

GOVERNO DO ESTADO (SP). Decreto nº 59.113, de 23 de abril de 2013 - Estabelece novos padrões de qualidade do ar e dá providências correlatas. , 2013. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2013/decreto-59113-23.04.2013.html>. Acesso em: 17 jun. 2019.

GRI. *Directrizes para a Elaboração de Relatórios de Sustentabilidade*. . Amsterdam: Global Reporting Initiative, 2007. Disponível em: <https://www.globalreporting.org/resourcelibrary/Portuguese-G3-Reporting-Guidelines.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2018.

HARRIS, A. T. *et al.* Towards zero emission pulp and paper production: the BioRegional MiniMill. *Journal of cleaner production*, v. 16, n. 18, p. 1971–1979, dez. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.02.005>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965260800036X>. Acesso em: 16 nov. 2016.

HORBACH, Jens. Determinants of environmental innovation—new evidence from German panel data sources. *Research policy*, v. 37, n. 1, p. 163–173, fev. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.08.006>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733307001916>. Acesso em: 28 maio 2016.

HUBER, Joseph. New Technologies and Environmental Innovation. *Technovation*, Google-Books-ID: \_Cl4QbQXnC8C, p. 1011–1013, dez. 2004. DOI: 10.1016/j.technovation.2004.07.022. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/257002560\\_New\\_Technologies\\_and\\_Environmental\\_Innovation](https://www.researchgate.net/publication/257002560_New_Technologies_and_Environmental_Innovation). Acesso em: 15 out. 2016.

HUYBRECHTS, D. *et al.* Best available techniques and the value chain perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 174, p. 847–856, fev. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.346>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617326203>. Acesso em: 11 nov. 2019.

IBA. *Cenários IBÁ - Estatísticas da Indústria Brasileira de Árvores - Dezembro/2016*. . [S.l.]: Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: [http://iba.org/images/shared/Cenarios/Cenarios\\_Dezembro\\_2016.pdf](http://iba.org/images/shared/Cenarios/Cenarios_Dezembro_2016.pdf). Acesso em: 1 maio 2017a. , 2016

IBA. Indicadores de produção e vendas do setor de árvores plantadas. *O Papel*, v. LXXVII, n. 10, p. 18–20, out. 2016b. . Acesso em: 1 maio 2017.

IBA. *Relatório Anual IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores*. . [S.l.]: Indústria Brasileira de Árvores. Disponível em: [http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf). Acesso em: 1 maio 2017c. , 2016

IBGE. *Séries Estatísticas - Dimensão Ambiental*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2016. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: [https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista\\_tema.aspx?op=0&de=86&no=16](https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/lista_tema.aspx?op=0&de=86&no=16). Acesso em: 9 abr. 2019.

JOVÉ-LLOPIS, Elisenda; SEGARRA-BLASCO, Agustí. Eco-innovation strategies: A panel data analysis of Spanish manufacturing firms. *Business Strategy and the Environment*, v. 27, n. 8, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.2063>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bse.2063>. Acesso em: 1 out. 2018.

KEMP, Rene; ARUNDEL, Antony. *Survey indicators for environmental innovation*. , IDEA Project. Oslo: IDEA Group, 1998.

KEMP, René; FOXON, Tim. Typology of eco-innovation. *Project Paper: Measuring Eco-Innovation*, p. 1–24, 2007a. .

KEMP, René; FOXON, Tim. Typology of eco-innovation. *Project Paper: Measuring Eco-Innovation*, p. 1–24, 2007b. .

KEMP, Rene; PEARSON, Peter. *Measuring Eco-innovation - Final Report*. . [S.l.]: DG Research of the European Commission, 2008. Disponível em: <http://www.merit.unu.edu/MEI>. Acesso em: 9 set. 2016.

KEMP, Rene; PONTOGLIO, Serena. The innovation effects of environmental policy instruments—A typical case of the blind men and the elephant? *Ecological Economics*, v. 72, p. 28–36, 2011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800911003909>. Acesso em: 28 maio 2016.

KESIDOU, Effie; DEMIREL, Pelin. On the drivers of eco-innovations: Empirical evidence from the UK. *Research Policy*, v. 41, n. 5, p. 862–870, jun. 2012. DOI: 10.1016/j.respol.2012.01.005.

KIEFER, Christoph P.; GONZÁLEZ, Pablo Del Río; CARRILLO-HERMOSILLA, Javier. Drivers and barriers of eco-innovation types for sustainable transitions: A quantitative perspective. *Business Strategy and the Environment*, v. 28, n. 1, nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/bse.2246>. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/329044034\\_Drivers\\_and\\_barriers\\_of\\_eco-innovation\\_types\\_for\\_sustainable\\_transitions\\_A\\_quantitative\\_perspective](https://www.researchgate.net/publication/329044034_Drivers_and_barriers_of_eco-innovation_types_for_sustainable_transitions_A_quantitative_perspective). Acesso em: 1 jun. 2010.

KIVIMAA, Paula. *The innovation effects of environmental policies: linking policies, companies and innovations in the Nordic pulp and paper industry*. Finlândia: Helsinki School of Economics, 2008. Disponível em: <https://aaltodoc.aalto.fi/handle/123456789/11516>. Acesso em: 2 out. 2016.

KIVIMAA, Paula; KAUTTO, Petrus. Making or breaking environmental innovation? Technological change and innovation markets in the pulp and paper industry. *Management Research Review*, v. 33, n. 4, p. 289–305, mar. 2010. DOI: 10.1108/01409171011030426. Disponível em: <http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/01409171011030426>. Acesso em: 16 nov. 2016.

KLABIN. *Site da Klabin*. 2018. Disponível em: [www.klabin.com.br](http://www.klabin.com.br). Acesso em: 29 abr. 2019.

KONG, Lingbo; HASANBEIGI, Ali; PRICE, Lynn. Assessment of emerging energy-efficiency technologies for the pulp and paper industry: a technical review. *Journal of Cleaner Production*, v. 122, p. 5–28, maio 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.116>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616002080>. Acesso em: 11 jul. 2019.

LABORDENA, Merce *et al.* Impact of political and economic barriers for concentrating solar power in Sub-Saharan Africa. *Energy Policy*, v. 102, p. 52–72, mar. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.12.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421516306644>. Acesso em: 11 jul. 2019.

LEE, Ki-Hoon; MIN, Byung. Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance. *Journal of Cleaner Production*, v. 108, p. 534–542, dez. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.114>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615006939>. Acesso em: 4 fev. 2017.

LI, Bo *et al.* Network optimization and performance evaluation of the water-use system in China's straw pulp and paper industry: a case study. *Clean Technologies and Environmental Policy*, v. 18, n. 1, p. 257–268, jan. 2016. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10098-015-1013-y>. Acesso em: 16 nov. 2016.

LIAO, Yi-Chuan; TSAI, Kuen-Hung. Innovation intensity, creativity enhancement, and ecoinnovation strategy: The roles of customer demand and environmental regulation. *Business Strategy and the Environment*, set. 2018. DOI: 10.1002/bse.2232. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/327406935\\_Innovation\\_intensity\\_creativity\\_enhancement\\_and\\_eco-innovation\\_strategy\\_The\\_roles\\_of\\_customer\\_demand\\_and\\_environmental\\_regulation](https://www.researchgate.net/publication/327406935_Innovation_intensity_creativity_enhancement_and_eco-innovation_strategy_The_roles_of_customer_demand_and_environmental_regulation). Acesso em: 1 jan. 2019.

LIN, Boqiang; ZHENG, Qingying. Energy efficiency evolution of China's paper industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, n. 3, p. 1105–1117, jan. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.059>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616316699>. Acesso em: 17 abr. 2019.

MARKUSSON, Nils. *Drivers of environmental innovation*. Stockholm: Vinnova - Swedish Governmental Agency for Innovation System, 2001.

MARTÍNEZ-ROS, Ester; KUNAPATARAWONG, Rasi. Green innovation and knowledge: The role of size. *Business Strategy and the Environment*, v. 28, n. 6, p. 1045–1059, abr. 2019. DOI: 10.1002/bse.2300. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/332116586\\_Green\\_innovation\\_and\\_knowledge\\_The\\_role\\_of\\_size](https://www.researchgate.net/publication/332116586_Green_innovation_and_knowledge_The_role_of_size). Acesso em: 1 jul. 2019.

MARTINS, Clitia Helena Backx *et al.* Indicadores do potencial poluidor das atividades industriais no rio grande do sul: uma contribuição inicial. *Indicadores econômico-ambientais na perspectiva da sustentabilidade - Documentos FEE n. 63*. Porto Alegre: FEE - FEPAM, 2005. p. 122. Disponível em: [www.fee.rs.gov.br](http://www.fee.rs.gov.br).

MARTINS, Clitia Helena Backx; OLIVEIRA, Naia. *Textos para Discussão N° 68 - Potencial poluidor da indústria no RS: dimensionamento e espacialização do risco*. . [S.l.]: Fundação de Economia e Estatística. Disponível em: <https://www.fee.rs.gov.br/wp-content/uploads/2014/03/20140324068.pdf>. Acesso em: 8 abr. 2019. , 2009

MDIC. *Empresas brasileiras exportadoras: Faixa de valor exportado (US\$ FOB) de janeiro a dezembro de 2016*. 2016. [Ministério da Indústria, Comércio exterior e Serviço.]. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/empresas-brasileiras-exportadoras-e-importadoras>. Acesso em: 2 fev. 2017.

MONTE, M. Concepcion *et al.* Waste management from pulp and paper production in the European Union. *Waste management*, v. 29, n. 1, p. 293–308, jan. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.02.002>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X08000573>. Acesso em: 5 nov. 2016.

NOAILLY, Joëlle; RYFISCH, David. Multinational firms and the internationalization of green R&D: A review of the evidence and policy implications. *Energy Policy*, v. 83, p. 218–228, ago. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.002>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421515001081>. Acesso em: 4 fev. 2017.

OBIDZINSKI, Krystof; DERMAWAN, Ahmad. Pulp industry and environment in Indonesia: is there sustainable future? *Regional Environmental Change*, v. 12, n. 4, p. 961–966, set. 2012. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10113-012-0353-y>. Acesso em: 16 nov. 2016.

OECD. *Oslo manual: proposed guidelines for collecting and interpreting technological innovation data*. Paris: OECD Publishing, 1997.

OECD. *Sustainable Manufacturing and Eco - Innovation: Framework, Practices and Measurement*. . Paris: Organisation For Economic Co-Operation And Development, 2009. Disponível em: <https://www.oecd.org/innovation/inno/43423689.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2017.

OLTRA, Vanessa; SAINT JEAN, Maider. Sectoral system of environmental innovation: An application to the french automotive industry. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 76, n. 4, p. 567–583, maio 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.03.025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004016250800108X>. Acesso em: 1 nov. 2016.

OLUNIYI, Ademola Emmanuel. Natural Resources, Energy and Sustainable Development. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, v. 5, n. 3, 2014. DOI: 10.5901/mjss.2014.v5n3p643. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/aa51/0951912b2325c8be954d284c1bfaaaddec6d.pdf>. Acesso em: 8 jul. 2019.

PAJUNEN, Nani *et al.* Drivers and barriers of effective industrial material use. *Minerals Engineering*, v. 29, p. 39–46, mar. 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.12.008>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687511004493>. Acesso em: 16 nov. 2016.

PELLINI, Tiago; MORRIS, Joe. A framework for assessing the impact of the IPPC directive on the performance of the pig industry. *Journal of Environmental Management*, v. 63, n. 3, p. 325–333, nov. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1006/jema.2001.0501>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479701905018>. Acesso em: 13 abr. 2018.

PERRITT, Richard. *CRITÉRIOS AMBIENTAIS PARA O ZONEAMENTO INDUSTRIAL*. Rio Grande do Sul: FEE, 1981.

POKHREL, D.; VIRARAGHAVAN, T. Treatment of pulp and paper mill wastewater—a review. *Science of the total environment*, v. 333, n. 1, p. 37–58, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.05.017>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969704004279>. Acesso em: 16 nov. 2016.

POPP, David; HAFNER, Tamara; JOHNSTONE, Nick. Environmental policy vs. public pressure: Innovation and diffusion of alternative bleaching technologies in the pulp industry. *Research Policy*, v. 40, n. 9, p. 1253–1268, nov. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.05.018>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733311000990>. Acesso em: 16 nov. 2016.

QUIVY, Raymond; CAMPENHOUDT, Luc Van. *Manual de investigação em ciências sociais*. 5. ed. Portugal: Gradiva Publicações SA, 2008.

RENNINGS, Klaus. Redefining innovation—eco-innovation research and the contribution from ecological economics. *Ecological economics*, v. 32, n. 2, p. 319–332, fev. 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(99\)00112-3](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00112-3). Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800999001123>. Acesso em: 28 maio 2016.

RENNINGS, Klaus *et al.* The influence of different characteristics of the EU environmental management and auditing scheme on technical environmental innovations and economic performance. *Ecological Economics*, v. 57, n. 1, p. 45–59, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800905001230>. Acesso em: 6 set. 2016.

RS, SSMA. 05/89. . PORTARIA N.º 05/89 - Aprova a norma técnica ssma n.º 01/89 – dma, que dispõe sobre critérios e padrões de efluentes líquidos a serem observados por todas as fontes poluidoras que lancem seus efluentes nos corpos d’água interiores do estado do rio

grande do sul, 1989. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/legislacao/arq/leg0000000019.doc>. Acesso em: 23 abr. 2019.

SEGURA, Fabiana Roberta *et al.* Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). *Environmental Pollution*, v. 218, p. 813–825, nov. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.08.005>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116306753>. Acesso em: 29 nov. 2016.

SELEGEI, T. S.; FILONENKO, N. N.; LENKOVSKAYA, T. N. On the technique for determining the meteorological air pollution potential. *Atmospheric and Oceanic Optics*, v. 28, n. 6, p. 561–565, nov. 2015. Disponível em: <http://link.springer.com/article/10.1134/S1024856015060159>. Acesso em: 11 set. 2017.

SEMA. Portaria SEMA nº 105 de 18/11/2011 - Torna público que, na análise técnica para emissão de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos para fins de lançamento de efluentes em cursos d'água de domínio do estado, a Superintendência de Recursos Naturais - SRN somente avaliará os parâmetros relativos à Temperatura, à Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO, à turbidez, ao pH e aos sólidos sedimentados. , 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=130938>. Acesso em: 12 set. 2016.

SEMA. Resolução CEPRAM nº 1 de 07 de Outubro de 1974 - Estabelece tabela de índices permissíveis no controle de poluição das águas e as características toleráveis dos efluentes lançados nas coleções de água. , 1974. Disponível em: [http://www2.sema.ba.gov.br/gestor/ArquivosSistemas/SistemaPublicacao/Arquivos/2391/ANEXO\\_146860387157891ddf94c5f.pdf](http://www2.sema.ba.gov.br/gestor/ArquivosSistemas/SistemaPublicacao/Arquivos/2391/ANEXO_146860387157891ddf94c5f.pdf). Acesso em: 12 set. 2016.

SILVO, Kimmo *et al.* Best Available Techniques (BAT) in the Finnish Pulp and Paper Industry – a Critical Review. *European Environment*, v. 15, p. 175–191, maio 2005. DOI: <https://doi.org/10.1002/eet.373>. . Acesso em: 24 out. 2016.

SILVO, Kimmo; JOUTTIJÄRVI, Timo; MELANEN, Matti. Implications of regulation based on the IPPC directive – A review on the Finnish pulp and paper industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 17, n. 8, p. 713–723, maio 2009. DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.11.011. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652608002850>. Acesso em: 24 out. 2016.

SINGH, Binder *et al.* 20 Years on lessons learned from Piper Alpha. The evolution of concurrent and inherently safe design. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, v. 23, n. 6, p. 936–953, nov. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2010.07.011>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423010000975>. Acesso em: 29 nov. 2016.

SJC. *Anexo 10 -Classificação das categorias do uso Industrial e definição do grau de risco ambiental*. . [S.l.]: Prefeitura Municipal de São José dos Campos. Disponível em: [http://servicos2.sjc.sp.gov.br/media/603145/anexo\\_10\\_-\\_classificacao\\_industrial.pdf](http://servicos2.sjc.sp.gov.br/media/603145/anexo_10_-_classificacao_industrial.pdf). Acesso em: 10 nov. 2017. , 2010

SOLOMAN, P. A. *et al.* Augmentation of biodegradability of pulp and paper industry wastewater by electrochemical pre-treatment and optimization by RSM. *Separation and Purification Technology*, v. 69, n. 1, p. 109–117, set. 2009. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.seppur.2009.07.002>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586609002810>. Acesso em: 16 nov. 2016.

SOUZA, Andre Heli Coimbra Botto. *Guia técnico ambiental da indústria de papel e celulose*. São Paulo: CETESB, 2008. Disponível em: [http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao\\_limpa/documentos/papel.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/tecnologia/producao_limpa/documentos/papel.pdf). Acesso em: 20 nov. 2016.

STYLES, David *et al.* Measuring the environmental performance of IPPC industry: I. Devising a quantitative science-based and policy-weighted Environmental Emissions Index. *Environmental Science & Policy*, v. 12, n. 3, p. 226–242, maio 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.02.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901109000379>. Acesso em: 21 jul. 2019.

SUHR, Michael *et al.* *Best Available Techniques (BAT) - Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board - Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*. . [S.l.]: European Commission - Institute for Prospective Technological Studies. , 2015

SUZANO. *Site da Suzano*. 2019. Disponível em: <http://www.suzano.com.br/>. Acesso em: 29 abr. 2019.

TSENG, Ming-Lang *et al.* Improving performance of green innovation practices under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, v. 40, p. 71–82, fev. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.10.009>. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652611003805>. Acesso em: 28 maio 2016.

VDI. *Determination Of Costs For Industrial Environmental Protection Measures. Guideline VDI 3800. Verein Deutscher Ingenieure (VDI)*. . [S.l.]: VDI. . Acesso em: 6 set. 2016. , 2001

VERACEL. *Site da Veracel*. 2019. Disponível em: <http://www.veracel.com.br>. Acesso em: 29 abr. 2019.

WEI, Yi-Ming; LIAO, Hua; FAN, Ying. An empirical analysis of energy efficiency in China's iron and steel sector. *Energy*, v. 32, n. 12, p. 2262–2270, dez. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.07.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544207001296>. Acesso em: 20 abr. 2019.

WHELAN, Sara. Petrobras P-36 Accident. *Proto-Type*, v. 1, 2013. Disponível em: <http://journals.library.mun.ca/ojs/index.php/prototype/article/view/499>. Acesso em: 29 nov. 2016.

YASUNARI, Teppei J. *et al.* Cesium-137 deposition and contamination of Japanese soils due to the Fukushima nuclear accident. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 108, n. 49, p. 19530–19534, dez. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1112058108>. Disponível em: <http://www.pnas.org/content/108/49/19530.short>. Acesso em: 16 nov. 2016.

YIN, Robert K. *Estudo de Caso - Planejamento e Métodos*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZHOU, Peng; ANG, Beng Wah; POH, Kim Leng. A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*, v. 189, n. 1, p. 1–18, ago. 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.04.042>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221707004651>. Acesso em: 20

## **APÊNDICE A – Categorias e indicadores ambientais do GRI G4**

## CATEGORIAS E INDICADORES AMBIENTAIS DO GRI G4

CATEGORIAS	INDICADORES
Materiais	G4-EN1 - Materiais usados, discriminados por peso ou volume
	G4-EN2 - Percentual de materiais usados provenientes de reciclagem
Energia	G4-EN3 - Consumo de energia dentro da organização
	G4-EN4 - Consumo de energia fora da organização
	G4-EN5 - Intensidade energética
	G4-EN6 - Redução do consumo de energia
	G4-EN7 - Reduções nos requisitos de energia relacionados a produtos e serviços
Água	G4-EN8 - Total de retirada de água por fonte
	G4-EN9 - Fontes hídricas significativamente afetadas por retirada de água
	G4-EN10 - Percentual e volume total de água reciclada e reutilizada
Biodiversidade	G4-EN11 - Unidades operacionais próprias, arrendadas ou administradas dentro ou nas adjacências de áreas protegidas e áreas de alto valor para a biodiversidade situadas fora de áreas protegidas
	G4-EN12 - Descrição de impactos significativos de atividades, produtos e serviços sobre a biodiversidade em áreas protegidas e áreas de alto valor para a biodiversidade situadas fora de áreas protegidas
	G4-EN13 - Habitats protegidos ou restaurados
	G4-EN14 - Número total de espécies incluídas na lista vermelha da IUCN e em listas nacionais de conservação com habitats situados em áreas afetadas por operações da organização, discriminadas por nível de risco de extinção
Emissões	G4-EN15 - Emissões diretas de gases de efeito estufa (GEE) (ESCOPO 1)
	G4-EN16 - Emissões indiretas de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes da aquisição de energia (ESCOPO 2)
	G4-EN17 - Outras emissões indiretas de gases de efeito estufa (GEE) (ESCOPO 3)
	G4-EN18 - Intensidade de emissões de gases de efeito estufa (GEE)
	G4-EN19 - Redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE)
	G4-EN20 - Emissões de substâncias que destroem a camada de ozônio (SDO)
Efluentes e Resíduos	G4-EN21 - Emissões de NOX, SOX e outras emissões atmosféricas significativas
	G4-EN22 - Descarte total de água, discriminado por qualidade e destinação
	G4-EN23 - Peso total de resíduos, discriminado por tipo e método de disposição
	G4-EN24 - Número total e volume de vazamentos significativos
	G4-EN25 - Peso de resíduos transportados, importados, exportados ou tratados considerados perigosos nos termos da convenção da basileia2, anexos i, ii, iii e viii, e percentual de resíduos transportados internacionalmente
	G4-EN26 - Identificação, tamanho, status de proteção e valor da biodiversidade de corpos d'água e habitats relacionados significativamente afetados por descartes e drenagem de água realizados pela organização
Produtos e Serviços	G4-EN27 - Extensão da mitigação de impactos ambientais de produtos e serviços
	G4-EN28 - Percentual de produtos e suas embalagens recuperados em relação ao total de produtos vendidos, discriminado por categoria de produtos
Conformidade	G4-EN29 - Valor monetário de multas significativas e número total de sanções não monetárias aplicadas em decorrência da não conformidade com leis e regulamentos ambientais
Transportes	G4-EN30 - Impactos ambientais significativos decorrentes do transporte de produtos e outros bens e materiais usados nas operações da organização, bem como do transporte de seus empregados
Geral	G4-EN31 - Total de investimentos e gastos com proteção ambiental, discriminado por tipo
Avaliação Ambiental de Fornecedores	G4-EN32 - Percentual de novos fornecedores selecionados com base em critérios ambientais
	G4-EN33 - Impactos ambientais negativos significativos reais e potenciais na cadeia de fornecedores e medidas tomadas a esse respeito
Mecanismos de Queixas e Reclamações Relacionadas a IA	G4-EN34 - Número de queixas e reclamações relacionadas a impactos ambientais protocoladas, processadas e solucionadas por meio de mecanismo formal

**APÊNDICE B - Comparações entre os demais parâmetros de poluição hídrica estabelecidas na legislação**

## COMPARAÇÕES ENTRE OS DEMAIS PARÂMETROS DE POLUIÇÃO HÍDRICA ESTABELECIDAS NA LEGISLAÇÃO.

Parâmetros	CONAMA No 430/2011	Decreto Nº 8.468/ 1976 (SP)	Deliberação CECA Nº 36/2012 (MS)	CECA NT-202.R- 10/ 1986 (RJ)	Portaria Nº 05/89 (RS)	Portaria SEMA nº 105/ 2011 (MA)	Resolução CEPRAM Nº 1/ 1974 (BA)	BAT 2001	BAT 2014	Melhores Parâmetros
Compostos Organofosforados e Carbamatos					0,1 mg/l					0,1 mg/l
Surfactantes					2,0 mg/l					2,0 mg/l
Coliformes Fecais					<= 300 NMP/100 ml					<= 300 NMP/100 ml
Óleos e Graxas: Vegetal ou Animal					<= 30 mg/l					<= 30 mg/l
Óleos e Graxas: Mineral					<= 10 mg/l					<= 10 mg/l

Fonte: (GOVERNO DO ESTADO (SP), 1976) (CONAMA, 2011a) (GOVERNO DO ESTADO (MS), 2012) (GOVERNO DO ESTADO (RJ), 1986) (RS, 1989) (SEMA, 2011) (SEMA, 1974) (EC, 2001) (EC, 2014)

**APÊNDICE C - Comparações entre os parâmetros de emissões estabelecidas na legislação.**

## COMPARAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS DE EMISSÕES ESTABELECIDAS NA LEGISLAÇÃO.

Legislações	Equipamento	MP(1)	ERT(1) (como SO <sub>2</sub> )	SO <sub>x</sub> (1) (como SO <sub>2</sub> )	NO <sub>x</sub> (1) (como NO <sub>2</sub> )	CO	HCT	TRS (mg/Nm <sup>3</sup> )	Condição referencial para Oxigênio:
CONAMA n°382/2006	Caldeira de recuperação	100	15	100	470	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONAMA n°436/2011	Caldeira de Recuperação (≤2000 tSS(2)/d de capacidade nominal)	240	15	100	470	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONAMA n°436/2011	Caldeira de Recuperação (>2000 tSS(2)/d de capacidade nominal)	150	15	100	470	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
FEPAM N°01/2018 (RS)	Caldeira de recuperação	100	15	100	470	2000	N.A.	N.A.	N.A.
SEMA n°16/2014 (PR)	Caldeira de Recuperação (≤400 tSS(2)/d de capacidade nominal)	240	N.A.	250	N.A.	2000	N.A.	30	8%
SEMA n°16/2014 (PR)	Caldeira de Recuperação (>400 tSS(2)/d de capacidade nominal)	150	N.A.	250	N.A.	2000	N.A.	15	8%
CONAMA n°382/2006	Tanque de dissolução	0,1 kg/tSS(2)	0,008 kg/tSS	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONAMA n°436/2011	Tanque de dissolução	0,5 kg/tSS(2)	0,08 kg/tSS(2)	NA(3)	NA (3)	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
FEPAM N°01/2018 (RS)	Tanque de dissolução	0,1 kg/tSS(2)	0,008 kg/tSS	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
SEMA n°16/2014 (PR)	Tanque de dissolução	500	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	80	N.A.
CONAMA n°382/2006	Forno de cal	100	30	N.A.	470	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
CONAMA n°436/2011	Forno de cal	180	30	NA(3)	470	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
FEPAM N°01/2018 (RS)	Forno de cal	100	30	N.A.	470	1200	N.A.	N.A.	N.A.
SEMA n°16/2014 (PR)	Forno de cal	177	N.A.	N.A.	N.A.	1200	N.A.	30	8%
FEPAM N°01/2018 (RS)	Fabricação de pastas de alto rendimento TMP e CTMP	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	300	N.A.	N.A.
SEMA n°16/2014 (PR)	Digestor, lavador brown stock, evaporador de efeito múltiplo, stripper de condensado	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	30	N.A.

Fontes: (CONAMA, 2006) (CONAMA, 2011b) (GOVERNO DO ESTADO (PR), 2014) (FEPAM, 2018)

Os estados da Bahia (GOVERNO DO ESTADO (BA), 2012), São Paulo (GOVERNO DO ESTADO (SP), 2013), Maranhão (GOVERNO DO ESTADO (MA), 1993) e Mato Grosso do Sul seguem CONAMA

**APÊNDICE D - Comparações entre os parâmetros físicos da legislação**

## COMPARAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS FÍSICOS DA LEGISLAÇÃO

Parâmetros	CONAM A No 430/2011	Decreto Nº 8.468/ 1976 (SP)	Deliberaçã o CECA Nº 36/2012 (MS)	CECA NT- 202.R-10/ 1986 (RJ)	Portaria Nº 05/89 (RS)	Portaria SEMA nº 105/ 2011 (MA)	Resolução CEPRAM Nº 1/ 1974 (BA)	BAT 2001	BAT 2014	Parâmetros mais restritivos
Vazão									25-50 m3/tsa	25-50 m3/tsa
pH	5 a 9;	5,0 e 9,0 ;	5 a 9;	5 a 9;	Entre 6,0 e 8,5	5 a 9;	5 a 9;			5 a 9;
Cor					Sem alteracao					
Temperatura	Inferior a 40°C	Inferior 40°C ;	Inferior a 40°C	Inferior a 40°C	<40 °c	Inferior 40°C ;	Inferior 40°C ;			Inferior 40°C
Espumas					Ausentes					Ausentes
Materiais sedimentáveis	Até 1 ml/L em	Até 1,0 ml/l	Até 1 ml/L	Até 1 ml/L	<= 1,0 ml/l	Até 1 ml/L	Até 1 ml/L			Até 1,0 ml/l
Óleos minerais	Até 20 mg/L;		Até 20 mg/L;	Até 20 mg/L;						Até 20 mg/L;
Óleos vegetais e gorduras animais	Até 50 mg/L;		Até 50 mg/L;	Até 30 mg/L;						Até 30 mg/L
Substâncias solúveis em hexana (óleos e graxas)		Até 100 mg/l								Até 100 mg/l
Dbo 5 dias, 20°C	Remoção mínima de 60%	Máximo de 60 mg/l				Remoção mínima de 60%		0,3 – 1,5 kg/tsa		Máximo de 60 mg/l
DQO								8 – 23 kg/tsa	20 kg/tsa	Até 20 kg/tsa
Materiais flutuantes	Ausência				Ausência		Ausência	0,6 – 1,5	0,3-1,5 kg/tsa	Ausência

Fonte: (GOVERNO DO ESTADO (SP), 1976) (CONAMA, 2011a) (GOVERNO DO ESTADO (MS), 2012) (GOVERNO DO ESTADO (RJ), 1986) (RS, 1989) (SEMA, 2011) (SEMA, 1974) (EC, 2001) (EC, 2014)

**APÊNDICE E - Comparações entre os parâmetros inorgânicos de poluição hídrica estabelecidas na legislação.**

## COMPARAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS INORGÂNICOS DE POLUIÇÃO HÍDRICA ESTABELECIDAS NA LEGISLAÇÃO.

Parâmetros	CONAMA No 430/2011	Decreto Nº 8.468/ 1976 (SP)	Deliberação CECA Nº 36/2012 (MS)	CECA NT-202.R-10/ 1986 (RJ)	Portaria Nº 05/89 (RS)	Portaria SEMA nº 105/ 2011 (MA)	Resolução CEPRAM Nº 1/ 1974 (BA)	BAT 2001	BAT 2014	Melhores Parâmetros
Alumínio Total				3,0 mg/l Al	10 mg/l Al					3,0 mg/l Al
Arsênio total	0,5 mg/L As	0,2 mg/l	0,5 mg/L	0,1 mg/l As	0,1 mg/l					0,1 mg/l As
Bário total	5,0 mg/L Ba	5,0 mg/l	5,0 mg/L BA	5,0 mg/l Ba	5,0 mg/l Ba					5,0 mg/l Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B	5,0 mg/l	5,0 mg/L B	5,0 mg/l B	5,0 mg/l B					5,0 mg/l B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd	0,2 mg/l	0,2 mg/L Cd	0,1 mg/l Cd	0,1 mg/l Cd					0,1 mg/l Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb	0,5 mg/l	0,5 mg/L Pb	0,5 mg/l Pb	0,5 mg/l Pb					0,5 mg/l Pb
Cobalto Total				1,0 mg/l Co	0,5 mg/l Co					0,5 mg/l Co
Cianeto total	1,0 mg/L		1,0 mg/L CN		0,2 mg/l CN					0,2 mg/l CN
CN Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN	0,2 mg/l	0,2 mg/L CN	0,2 mg/l CN						0,2 mg/l CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu	1,0 mg/l	1,0 mg/L Cu	0,5 mg/l Cu	0,5 mg/l Cu					0,5 mg/l Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr+6	0,1 mg/l	0,1 mg/L Cr +6	0,5 mg/l Cr	0,1 mg/l Cr +6					0,1 mg/l Cr
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr+3	5,0 mg/l	1,0 mg/L Cr +3		0,5 mg/l Cr					0,5 mg/l Cr
Dureza					200 mg/l CaCO <sub>3</sub>					200 mg/l CaCO <sub>3</sub>
Estanho total	4,0 mg/L Sn	4,0 mg/l	4,0 mg/L Sn	4,0 mg/l Sn	4,0 mg/l Sn					4,0 mg/l Sn
Fenol		0,5 mg/l								0,5 mg/l
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe	(Fe2 +) 15,0 mg/l	15,0 mg/L Fe	15,0 mg/l Fe	10 mg/l Fe					10 mg/l Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F	10,0 mg/l	10,0 mg/L F	10,0 mg/l F	10 mg/l F					10,0 mg/l F
Fosforo Total					1,0 mg/l P			0,01 – 0,03 kg/tsa	0,01 - 0,03 kg/tsa	0,01 - 0,03 kg/tsa
Lítio					10 mg/l Li					10 mg/l Li
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn	(Mn2 +) 1,0	1,0 mg/L Mn	1,0 mg/l Mn	2,0 mg/l Mn					1,0 mg/l Mn

Parâmetros	CONAMA No 430/2011	Decreto N° 8.468/ 1976 (SP)	Deliberação CECA N° 36/2012 (MS)	CECA NT-202.R-10/ 1986 (RJ)	Portaria N° 05/89 (RS)	Portaria SEMA n° 105/ 2011 (MA)	Resolução CEPRAM N° 1/ 1974 (BA)	BAT 2001	BAT 2014	Melhores Parâmetros
		mg/l								
Mercurio total	0,01 mg/L Hg	(0,01 mg/l	0,01 mg/L Hg	0,01 mg/l Hg	0,01 mg/l Hg					0,01 mg/L Hg
Molibdênio					0,5 mg/l Mo					0,5 mg/l Mo
Níquel total	2,0 mg/L Ni	2,0 mg/l	2,0 mg/L Ni	1,0 mg.1 Ni	1,0 mg/l Ni					1,0 mg/l Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N		20,0 mg/L N		10 mg/l N			0,1 – 0,25 kg/tsa	0,05- 0,25 kg/tsa	10 mg/l N
Prata total	0,1 mg/L Ag	0,02 mg/l	0,1 mg/L Ag	0,1 mg/l Ag	0,1 mg/l Ag					0,02 mg/l
Selênio total	0,30 mg/L Se	0,02 mg/l	0,30 mg/L Se	0,05 mg/l Se	0,05 mg/l Se					0,02 mg/l
Vanádio total				4,0 mg/l V	1,0 mg/IVa					1,0 mg/IVa
Sulfeto	1,0 mg/L S		1,0 mg/L S	1,0 mg/l S	0,2 mg/l S					1,0 mg/l S
Zinco total	5,0 mg/L Zn	5,0 mg/l	5,0 mg/L Zn	1,0 mg/l Zn	1,0 mg/l Zn					1,0 mg/l Zn

Fonte: (GOVERNO DO ESTADO (SP), 1976) (CONAMA, 2011a) (GOVERNO DO ESTADO (MS), 2012) (GOVERNO DO ESTADO (RJ), 1986) (RS, 1989) (SEMA, 2011) (SEMA, 1974) (EC, 2001) (EC, 2014)

**APÊNDICE F - Comparações entre os parâmetros orgânicos de poluição hídrica estabelecidas na legislação.**

## COMPARAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS ORGÂNICOS DE POLUIÇÃO HÍDRICA ESTABELECIDAS NA LEGISLAÇÃO.

Parâmetros	CONAMA No 430/2011	Decreto Nº 8.468/ 1976 (SP)	Deliberação CECA Nº 36/2012 (MS)	CECA NT-202.R-10/1986 (RJ)	Portaria Nº 05/89 (RS)	Portaria SEMA nº 105/ 2011 (MA)	Resolução CEPRAM Nº 1/ 1974 (BA)	BAT 2001	BAT 2014	Melhores Parâmetros
Amônia				5,0 mg/l N						5,0 mg/l N
AOX								<0,20 kg/tsa		<0,20 kg/tsa
Cloro Ativo				5,0 mg/l Cl						5,0 mg/l Cl
Benzeno	1,2 mg/L		1,2 mg/L							1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L		1,0mg/L							1,0mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L		1,0mg/L							1,0mg/L
Estireno	0,07 mg/L		0,07 mg/L							0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L		0,84 mg/L							0,84 mg/L
fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH		0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	0,2 mg/l C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	0,1 mg/l					0,1 mg/l
Sulfito				1,0 mg/l SO <sub>3</sub>						1,0 mg/l SO <sub>3</sub>
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L		1,0 mg/L							1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L		1,0 mg/L							1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L		1,2 mg/L							1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L		1,6 mg/L							1,6 mg/L
Pesticidas organofosforados e carbamatos				0,1 mg/l (por composto)						0,1 mg/l (por composto)
Pesticidas organofosforados e carbamatos totais (somatório dos pesticidas analisados individualmente)				1,0 mg/l						1,0 mg/l
Hidrocarbonetos alifáticos halogenados voláteis, tais como: 1,1,1-tricloroetano; diclorometano; tricloroetileno e tetracloroetileno.				0,1 mg/l (por composto)						0,1 mg/l (por composto)
Hidrocarbonetos alifáticos halogenados voláteis totais				1,0 mg/l Cl						1,0 mg/l Cl

<b>Parâmetros</b>	<b>CONAMA No 430/2011</b>	<b>Decreto Nº 8.468/ 1976 (SP)</b>	<b>Deliberação CECA Nº 36/2012 (MS)</b>	<b>CECA NT-202.R-10/ 1986 (RJ)</b>	<b>Portaria Nº 05/89 (RS)</b>	<b>Portaria SEMA nº 105/ 2011 (MA)</b>	<b>Resolução CEPRAM Nº 1/ 1974 (BA)</b>	<b>BAT 2001</b>	<b>BAT 2014</b>	<b>Melhores Parâmetros</b>
Hidrocarbonetos halogenados não listados acima tais como: pesticidas e ftalo-ésteres 0				,05 mg/l (por composto)						,05 mg/l (por composto)
Hidrocarbonetos halogenados totais, excluindo os hidrocarbonetos alifáticos halogenados voláteis				0,5 mg/l Cl						0,5 mg/l Cl
Sulfeto de carbono				1,0 mg/l						1,0 mg/l
Substâncias tensoativas que reagem ao azul de metileno				2,0 mg/l						2,0 mg/l

Fonte: (GOVERNO DO ESTADO (SP), 1976) (CONAMA, 2011a) (GOVERNO DO ESTADO (MS), 2012) (GOVERNO DO ESTADO (RJ), 1986) (RS, 1989) (SEMA, 2011) (SEMA, 1974) (EC, 2001) (EC, 2014)

**APÊNDICE G – Formulário de consentimento**

## FORMULÁRIO DE CONSENTIMENTO

### Tema da pesquisa:

### INOVAÇÃO PARA MITIGAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS

### Pesquisadores:

#### Professor Orientador:

Dra. Maria Tereza Saraiva de Souza

Professora do Programa de Pós Graduação em Administração – PPGA

Centro Universitário da FEI

Rua Tamandaré, 688 – Liberdade

01525-000 – São Paulo – SP

Telefone (11) 99990-7997.

E-mail: [mtereza@fei.edu.br](mailto:mtereza@fei.edu.br)

#### Aluna:

Patricia lima Nogueira Giacchetti

Aluna de Doutorado do Programa de Pós Graduação em Administração – PPGA

Centro Universitário da FEI

Telefone (11) 99929-8036.

E-mail: [plnogueira@hotmail.com](mailto:plnogueira@hotmail.com)

### Informações:

A duração da entrevista será em torno de uma hora a depender da sua disponibilidade.

A entrevista será gravada com a utilização de um gravador digital.

Apenas as pessoas envolvidas na pesquisa terão acesso aos dados gravados.

As gravações das entrevistas serão mantidas em local seguro.

Se a transcrição dos dados for efetuada por outra pessoa que não os membros da equipe de pesquisa, esta pessoa deverá assinar um termo de confidencialidade.

Os dados desta pesquisa somente serão utilizados com autorização prévia da empresa.

Os dados serão tabulados em conjunto de forma a não permitir a identificação isolada da empresa

**CONSENTIMENTO A ASSINAR****Participação na entrevista**

Após receber informações sobre o estudo, eu aceito, de livre e espontânea vontade, participar da(s) entrevista(s) de coleta de dados e autorizo a utilização dos dados aqui coletados para desenvolvimento de trabalhos acadêmicos e científicos.

Local:	Data: ____/____/____								
Empresa:									
<p>Pessoa(s) entrevistada(s)</p> <table> <tr> <td data-bbox="228 913 1026 958">Nome:</td> <td data-bbox="1026 913 1423 958">Assinatura:</td> </tr> <tr> <td data-bbox="228 1059 1026 1070">_____</td> <td data-bbox="1026 1059 1423 1070">_____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="228 1171 1026 1182">_____</td> <td data-bbox="1026 1171 1423 1182">_____</td> </tr> <tr> <td data-bbox="228 1283 1026 1294">_____</td> <td data-bbox="1026 1283 1423 1294">_____</td> </tr> </table>		Nome:	Assinatura:	_____	_____	_____	_____	_____	_____
Nome:	Assinatura:								
_____	_____								
_____	_____								
_____	_____								
<p>Entrevistador(es)</p> <table> <tr> <td data-bbox="228 1552 1026 1597">Nome:</td> <td data-bbox="1026 1552 1423 1597">Assinatura:</td> </tr> <tr> <td data-bbox="228 1697 1026 1709">_____</td> <td data-bbox="1026 1697 1423 1709">_____</td> </tr> </table>		Nome:	Assinatura:	_____	_____				
Nome:	Assinatura:								
_____	_____								

**APÊNDICE H – Formulário de visita**



## Declaração de Visita

Declaramos que Patricia Lima Nogueira Giacchetti, CPF. 19292373838, esteve presente nesta unidade para visita às instalações e entrevista com o gestor responsável pela área ambiental/ inovação sobre o tema Gestão da Inovação com o objetivo de levantamento de informações para pesquisa acadêmica/ científica.

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Empresa

Endereço:

## **APÊNDICE I – Guia para entrevistas**

## GUIA PARA ENTREVISTAS

<b>Etapas da entrevista</b>		<b>Anotações</b>
1	Apresentação do projeto de pesquisa e do doutorando	
2	Agradecimento da disponibilidade para a entrevista e visita de campo	
3	Explicar que a pesquisa possui cunho acadêmico e que servirá de base para desenvolvimento de teses de doutorado e artigos científicos sobre Inovação Ambiental	
4	Explicar que as respostas das empresas serão tabuladas em conjunto não havendo possibilidade de identificação única	
5	Explicar a questão sigilo da pesquisa quanto à identidade dos entrevistados e da empresa visitada.	
6	Explicar as etapas da pesquisa: transcrição, aprovação e tabulação dos dados coletados.	
7	Explicar a importância da autorização expressa da instituição para publicação dos dados	
8	Solicitação de autorização para gravação	
9	Solicitação da assinatura do formulário visita	
10	Solicitação da assinatura do formulário de consentimento	
11	Detalhamento dos objetivos da entrevista	
12	Início do questionário (não interromper o entrevistado).	
13	Identificação da evolução da inovação ambiental para mitigação de impactos ambientais significativos. (Evidenciar que não se tratará de uma comparação de dados entre empresas, pois o objetivo da pesquisa é descritivo)	
14	Finalização do questionário (informe de que após a transcrição o documento será enviado para validação)	
15	Questionamento sobre se o entrevistado se colocaria a disposição para uma entrevista adicional, se necessário.	
16	Agradecimento da disponibilidade e das informações	

## **APÊNDICE J – Protocolo de observação**

## Protocolo de Observação

<b>Local</b>	<b>Elementos observáveis</b>
Pátio de madeira	Lavagem de madeira
	Descascamento
	Armazenamento de cavaco
Cadeira de biomassa	Queima do licor negro
P&D	Processo de pesquisa sobre inovações ambientais
	Inovações em testes
Produção	Processo produtivo
	Emissões
	Caldeiras
	Inovações em funcionamento
	Tecnologias BAT em uso
Estação de Tratamento de Efluentes	Processo de Captação
	Processo de tratamento
	Descarte de água
	Armazenamento do lodo resultante

**APÊNDICE K – Quadro de fator de impacto**

## QUADRO DE FATOR DE IMPACTO

<b>Journal</b>	<b>Qtde Artigos</b>	<b>IF (JCR)</b>
Science	1	34.661
Proceedings of the national academy of sciences	1	9.661
Academy of management review	1	8.855
Journal of cleaner production	15	5.715
Bioresource technology	1	5.651
Environmental Pollution	1	5.099
Science of the total environment	2	4.900
Energy	1	4.520
Research Policy	3	4.495
Energy Policy	3	4.140
Waste management	2	4.030
Environmental Science & Policy	1	3.751
Atmospheric environment	1	3.629
Separation and purification technology	2	3.359
Clean technologies and environmental policy	2	3.331
Resources, conservation and recycling	2	3.313
Technovation	1	3.265
Marine pollution bulletin	1	3.146
Business strategy and the environment	6	3.076
Ecological economics	6	2.965
Technological forecasting & social change	1	2.625
Journal of environmental radioactivity	1	2.310
Minerals Engineering	1	2.286
Journal of loss prevention in the process industries	1	1.818
Journal of Energy Resources Technology	1	1.674
Harvard environmental law review	1	1.000
Journal of environmental management	2	4.25
Management research review	1	1.28
Atmospheric and Oceanic Optics	1	2.23
Regional environmental change	1	2,919
Resources Policy	1	2,618
Environment & Technology	1	1,79

**APÊNDICE L – Roteiro de entrevista exploratória nas empresas**

## ROTEIRO DE ENTREVISTA EXPLORATÓRIA NAS EMPRESAS

<b>Categorias</b>	<b>Perguntas</b>
Geral	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nome do Entrevistado:</li> <li>- Cargo:</li> <li>- Nome da empresa:</li> <li>- Unidade:</li> <li>- Setor de atuação:</li> <li>- Principal (is) produto (s):</li> <li>- Há certificação ISO 14001? Há outras?</li> </ul>
Aspectos e impactos ambientais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quais são os Impactos ambientais específicos da unidade significativos da unidade?</li> <li>- Que medidas de mitigação são tomadas para prevenir os impactos significativos?</li> </ul>
Emissões	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quais as principais emissões da unidade?</li> <li>- Houve redução de emissão de gases efeito estufa (GEE)?</li> <li>- É realizada a incineração na planta (gás com chama ou gás catalítico)?</li> <li>- Algum resíduo é encaminhado para incineração?</li> </ul>
Efluentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os efluentes contaminados passam por algum processo de tratamento?</li> <li>- Há ETE (estação de tratamento de efluentes) na planta?</li> </ul>
Energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Que fontes renováveis são utilizadas na empresa?</li> </ul>
Recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Há armazenamento desta água para reuso?</li> </ul>
Inovação Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Houve inovação no processo ou no produto para mitigar os impactos ambientais significativos?</li> <li>- Há planos para aquisições de novos produtos, serviços ou processos futuros para redução de impactos ambientais significativos com cenários de emergência?</li> <li>- Essa inovação ambiental vem sendo implementada em outras indústrias do setor?</li> <li>- Quais as tecnologias ambientais vêm sendo adotadas em outros países para mitigar o impacto ambiental significativo com cenário de emergência?</li> </ul>

**APÊNDICE M – Roteiro de entrevista semiestruturada na empresa**

## ROTEIRO DE ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA NA EMPRESA

Categoria	Subcategorias	Questionamentos
Geral	Identificação	Empresa Nome Cargo
	Sistema de Gestão	Quais certificados ambientais a empresa possui?
<i>Determinantes da inovação ambiental</i>	P&D	A empresa possui uma área de P&D? A área desenvolve pesquisa de P&D verde, para mitigar impactos ambientais? Qual o procedimento para estudo de uma inovação? Quais as etapas de projeto para desenvolvimento/ implantação de inovação?
		Que programas a empresa possui de pesquisa em inovação ambiental? Há parcerias com órgãos de fomento ou instituições de pesquisa em tecnologias ambientais de processo? Quais os gastos em P&D a empresa teve no último ano? Deste valor, qual percentual foi gasto em inovações ambientais? Quais as principais fontes de aprendizado sobre as tecnologias ambientais (produtos e resultados)?
	Difusão	Quais tecnologias ambientais foram trazidas por outras empresas de P&D? Quais tecnologias ambientais foram trazidas por outras empresas do mesmo ramo? Há algum acordo de transferência de tecnologia ambiental entre a empresa e outros? Quais? A empresa tem difundido tecnologias ambientais para o mercado?
	Regulamentação	Que regulamentação gerou maior pressão para a implantação de inovação ambiental? Como a empresa responde às multas ambientais, se houveram? Que mudanças de processos ocorreram com relação a legislação? Qual a regulamentação mais recente para o controle das emissões? Qual a regulamentação mais recente para o controle dos efluentes? Qual a regulamentação mais recente para o controle dos resíduos?
	Pressões externas e internas	Quais as principais queixas da comunidade relacionadas a impactos ambientais? Quais as inovações implantadas a partir das queixas da comunidade? Quais as inovações implantadas a partir das multas ambientais?
Tipos de inovações de acordo com a implantação	Incremental Radical	Que inovações ambientais radicais foram desenvolvidas ou implantadas? Que inovações ambientais incrementais foram desenvolvidas ou implantadas? Quais critérios utilizados para estas decisões? Quais os direcionadores encontrados na tomada de decisão? Quais dificuldades ou barreiras encontradas na tomada de decisão?
Emissões	Emissões tóxicas	Quais são as emissões tóxicas do processo? Quais os indicadores para mensurar as emissões tóxicas? Quais tecnologias ambientais limpas estão sendo implantadas para prevenir ou reduzir (mitigar) as emissões? Que tecnologias ambientais end-of-pipe estão sendo utilizadas para reduzir emissões tóxicas? Quais práticas BAT são utilizadas para contenção das emissões? Como essas tecnologias ambientais foram difundidas? Essas tecnologias ambientais de processo foram desenvolvidas na área de P&D? Como foi o projeto? Essas tecnologias ambientais de processo foram desenvolvidas por sugestões de colaborador? A aplicação de inovações ambientais na área de emissões aumentou o desempenho ambiental da empresa? Quais os principais indicadores?

Categoria	Subcategorias	Questionamentos
Emissões	Gases do efeito estufa	<p>Quais são os principais GEE?  Quais os indicadores para mensurar as emissões de gases do efeito estufa?  Quais tecnologias ambientais limpas estão sendo implantadas para prevenir ou reduzir (mitigar) as emissões?  Que tecnologias ambientais end-of-pipe estão sendo utilizadas para reduzir GEE?  Quais práticas BAT são utilizadas para contenção das emissões?  Como essas tecnologias ambientais foram difundidas?  Essas tecnologias ambientais de processo foram desenvolvidas na área de P&amp;D?  Essas tecnologias ambientais de processo foram desenvolvidas por sugestões de colaborador?  A aplicação de inovações ambientais na área de emissões aumentou o desempenho ambiental da empresa? Quais os principais indicadores?</p>
Recursos hídricos	Consumo	<p>Qual a principal fonte de consumo de água desta empresa?  Que outras fontes de água são utilizadas no processo?  Quais os principais indicadores de consumo de água?  Qual o percentual captado e devolvido de água?  Quanto é o percentual reutilizado?  Quais as principais tecnologias utilizadas para reduzir o consumo de água?</p>
Efluentes	Contaminação e tratamento	<p>Quais os padrões de contaminação atualmente utilizados na empresa?  Quais as principais tecnologias limpas utilizadas para prevenção da contaminação ?  Quais as principais tecnologias end-of-pipe utilizadas para tratamento de contaminação ?  Quais práticas BAT são utilizadas para redução de contaminação e para tratamento?  Como essas tecnologias ambientais foram difundidas?  Essas tecnologias ambientais de processo foram desenvolvidas na área de P&amp;D?  Essas tecnologias ambientais de processo foram desenvolvidas por sugestões de colaborador?  A aplicação de inovações ambientais na área de recursos hídricos e efluentes aumentou o desempenho ambiental da empresa?  Quais os principais indicadores?</p>
Energia	Redução de Consumo	<p>Quais os padrões de consumo de energia da empresa?  Quais as principais tecnologias limpas utilizadas para redução do consumo de energia?  Quais as principais tecnologias end-of-pipe utilizadas para redução do consumo de energia?  Quais práticas BAT são utilizadas na redução do consumo de energia?  Como essas tecnologias ambientais foram difundidas?  Essas tecnologias ambientais de processo foram desenvolvidas na área de P&amp;D?  Essas tecnologias ambientais de processo foram desenvolvidas por sugestões de colaborador?  A aplicação de inovações ambientais na área de resíduos aumentou o desempenho ambiental da empresa?  Quais os principais indicadores?</p>
Impactos da inovação ambiental	Processos	<p>Que insumos limpos são utilizados no processo produtivo?  Das inovações ambientais mencionadas quais as mais efetivamente utilizadas para redução de riscos ambientais?  A implantação de tecnologias ambientais levou a que impactos na empresa?  Que mudanças nos processos foram realizadas com as novas tecnologias?</p>