



UDESC

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**DIAGNÓSTICO DE
ECONOMIA CIRCULAR NO
COMPLEXO INDUSTRIAL DE
BASE FLORESTAL DA
REGIÃO DE LAGES/SC**

FLÁVIA ARCARI DA SILVA

LAGES, 2019

FLÁVIA ARCARI DA SILVA

**DIAGNÓSTICO DE ECONOMIA CIRCULAR NO COMPLEXO INDUSTRIAL DE
BASE FLORESTAL DA REGIÃO DE LAGES/SC**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Flávio José Simioni

Coorientadora: Debora Nayar Hoff

**LAGES, SC
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Silva, Flávia Arcari da

Diagnóstico de economia circular no complexo industrial de base florestal da região de Lages/SC / Flávia Arcari da Silva. -- 2019.

116 p.

Orientador: Flávio José Simioni

Coorientadora: Débora Nayar Hoff

Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Lages, 2019.

1. Gestão Ambiental. 2. Circularidade. 3. Setor Florestal. 4. Recursos Renováveis. 5. Resíduos. I. Simioni, Flávio José . II. Nayar Hoff, Débora. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. IV. Título.


FLÁVIA ARCARI DA SILVA

**DIAGNÓSTICO DE ECONOMIA CIRCULAR NO COMPLEXO INDUSTRIAL DE
BASE FLORESTAL DA REGIÃO DE LAGES – SC**

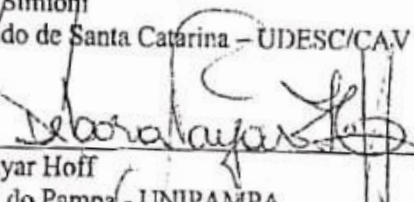
Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciências Ambientais como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, da Universidade do Estado de Santa Catarina.

Banca examinadora:


Orientador:


Prof. Dr. Flávio José Simioni
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CAV

Coorientadora:


Prof. Dra. Debora Nayar Hoff
Universidade Federal do Pampa - UNIPAMPA

Membros:


Martha Andreia Brand
Universidade do Estado de Santa Catarina -- UDESC/CAV


Simone Sehnem

Universidade do Oeste de Santa Catarina - UNOESC

Lages, 25 de fevereiro de 2019.

AGRADECIMENTO

Esses dois anos foram intensos, produtivos, e de crescimento tanto profissional quanto pessoal.

Agradeço em primeiro lugar a Universidade do Estado de Santa Catarina, onde obtive minha formação como Engenheira Ambiental e agora me torno mestre, pela oportunidade de estudar em uma instituição pública e de qualidade. Também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de dedicação exclusiva à pesquisa.

Aos professores do departamento de Engenharia Ambiental, cuja dedicação em compartilhar conhecimento e desenvolver projetos de pesquisa, sempre foi para mim motivo de admiração. Agradeço ao auxílio e disponibilidade da minha coorientadora, Dra. Débora Nayar Hoff. Em especial, agradeço ao meu orientador, Professor Dr. Flávio Simioni, que além de mestre, sempre foi paciente, disposto a escutar as ideias de seus orientandos e trabalhando em conjunto conosco no desenvolvimento das pesquisas.

Desde a minha decisão de ingressar em um programa de mestrado, com dedicação exclusiva, fui apoiada e incentivada por aqueles que realmente me conhecem e respeitam a identificação com a pesquisa. À minha família, obrigada por respeitarem e apoiarem minha decisão. Aos meus pais, por apoiarem outra mudança de cidade, por incentivarem o trabalho com pesquisa, por aguentarem minhas mudanças de humor e inseguranças, por vibrarem em cada pequena conquista, por serem tão presentes, e principalmente, por acreditarem em mim.

Nesses anos longe da família, fortaleci um vínculo de amizade de significado indescritível para mim. Com meus colegas do LabGea, que grupo dinâmico de trabalho nós criamos, sempre prontos para discutir os trabalhos, auxiliar, para as rodas de conversação em inglês, compartilhar o café, voltar para casa juntos à noite do laboratório, e para às vezes, parar para um *happy hour* depois das horas de trabalho.

Às minhas amigas, Júlia Wahrlich, Tamires Deboni e Sandy Giroto, pelas muitas horas de conversa, de paciência comigo, de compreensão, de dividir as inseguranças, de rir dos motivos mais banais, de tomar um café na casa da amiga e serem minhas companhias diárias, ainda que para ir ao mercado, e especialmente, pela torcida sincera.

Um agradecimento também às meninas do MPSC por terem me acolhido tão bem nesta reta final do mestrado. E claro, às minhas meninas do intercâmbio, longe, mas sempre perto.

EPÍGRAFE

Seja responsável por aquilo que cativas.

“O Pequeno Príncipe”

RESUMO EM PORTUGUÊS

A produção intensiva ocorre por meio de um modelo linear tradicional que se mostra falho, com alta dependência de recursos virgens e desperdício de material. Para tanto, um modelo circular de produção está emergindo, no sentido de otimizar o aproveitamento dos recursos naturais e diminuir o impacto ambiental, sem deixar de prover para a população. Nesse sentido, insere-se o setor de base florestal, de expressividade econômica na região de Lages de Santa Catarina (SC). Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar se o arranjo industrial da região de Lages de SC realiza sinergias buscando um modelo de Economia Circular que incentive a redução do uso dos recursos virgens e dos desperdícios, e que promova a diminuição do impacto ambiental do setor produtivo. Para tanto, foram identificadas e selecionadas 23 empresas pertencentes ao setor florestal da região, que foram visitadas para entrevista e aplicação de questionário. Os resultados apresentaram como ramos de atuação destas o Processamento Primário (PP), Processamento Primário e/ou Secundário (PPS), Processamento Primário, Secundário e Terciário (PPST), Painéis (Pa), Celulose e Papel (CP), Reciclagem (Re) e Produção de Energia (PE). O consumo de matérias-primas virgens, coprodutos e reciclados corresponde a 83,66%, 13,54% e 2,80%, respectivamente, com os coprodutos percorrendo as menores distâncias de transporte. O rendimento de transformação desse material em produto cresce de 60% dos ramos de PP e PPS para quase 100% nos ramos que atuam no fechamento de ciclo, como Re e PE. Quanto a geração de resíduos florestais, 53,81% do aproveitamento é interno. Da finalidade dada a esses resíduos, 91,32% segue para recuperação energética, 5,16% para ciclagem de nutrientes, 3,48% para reuso nos processos e apenas 0,04% para aterro. Com respeito ao consumo energético, 85,53% se dá por meio de vapor obtido no uso de resíduos de biomassa como combustível, 14,45% de energia elétrica e 0,003% de combustíveis fósseis. Quanto a água, 51% das empresas declarou efetuar reuso em seus processos. Por meio do mapa de relações e análise estatística de aglomerados, foram observados como as sinergias do setor ocorrem, em que os ramos de PP, PPS e PPST são baseados em matérias-primas virgens e possuem baixa capacidade de aproveitamento interno de seus resíduos florestais, evoluindo gradativamente para o aproveitamento desses pelos ramos de Pa e CP, parcialmente dependentes de matérias-primas virgens, até chegar aos ramos de Re e PE, que absorvem os resíduos dos demais ramos e tem os seus próprios resíduos utilizados para ciclagem de nutrientes, proporcionando o fechamento do ciclo. Por fim, o alto aproveitamento dado aos materiais resulta na menor extração de recursos virgens para uso como matéria-prima e combustível, no retorno de nutrientes ao solo, na menor emissão de gases de efeito estufa e no uso de energia limpa e renovável, além de menor necessidade de área para aterro. Observa-se assim, com respeito aos fluxos, os fatores necessários à Economia Circular no setor, ficando identificadas as potencialidades do setor em realizar sinergias, que agregam valor aos materiais e diminuem os impactos ambientais negativos.

Palavras chaves: Gestão Ambiental, Circularidade, Setor Florestal, Recursos Naturais, Resíduos.

ABSTRACT

The intensive production occurs through a traditional linear model, which appears to be flawed, with high dependence on virgin resources and material loss. Therefore, a circular model is emerging in the sense of optimizing the natural resources use, diminishing the environmental impact while providing for people needs. In this, there is the forestry sector, of economic expressivity in the Lages region of Santa Catarina (SC). Thus, the objective of this dissertation was to analyse if the industrial arrangement of the mountain region of SC performs synergies seeking for a circular economy model that encourages the reduction in the use of virgin resources and loss, and that promotes the diminish of the environmental impacts of the production sector. Therefore, 23 companies belonging to the sector were identified and visited for interview and questionnaire application. The results presented as fields of activity: primary processing (PP), primary and secondary processing (PPS), primary, secondary and tertiary processing (PPST), panels (Pa), pulp and paper (CP), recycling (Re) and energy production (PE). The virgin raw material, by-products and recycled material consumption corresponds to 83,66%, 13,54% e 2,80%, respectively, with by-products travelling the shortest transport distances. The transformation rate of this material in products increase from 60% in PP and PPS to almost 100% in the fields of activity that act on the circle closure, as Re and PE. Regarding the forestry waste generation, 53,81% has intern utilization, that is, in the company itself. About the purpose of use given to these wastes, 91,32% goes to energetic savings, 5,16% to nutrients cycling, 3,48% to reuse in the processes and only 0,04% to landfills. With respect to the energetic consume, 85,53% is obtained by means of the steam generated using biomass wastes as fuel, 14,45% of electric energy and 0,003% of fossil fuels. As to the water, 51% of the companies declared to reuse it in their processes. By the relation map and the agglomerate statistical analysis, it was observed how the sector synergies occurs, where PP, PPS and PPST sectors are based in raw materials and have a low capacity of internal use of its forestry wastes, gradually evolving to the exploitation of these by Pa e CP, partially dependent on virgin raw materials, to Re and PE, that absorb the wastes of the other fields of activity in its processes and have its own wastes used for nutrient cycling, providing the circle closure. Finally, it is observed that the high exploitation given to the materials result on minor extraction of virgin resources to its use as raw material and fuel, on the nutrient return to the soil, on the minor emission of greenhouse gases by the reduction of distances covered in the transport of materials and by the use of clean and renewable energy, as well as less need of landfill. When considering the flows, the factors needed to a Circular Economy are observed in the sector, being identified the sector's potentialities to achieve synergies, which adds value to the materials and reduce negative environmental impacts.

Key-words: Environmental Management, Circularity, Forestry Sector, Natural Resources, Wastes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Modelo convencional de atividade econômica com sistema de produção linear.	30
Figura 2 - Esquema circular de economia	32
Figura 3 – Fluxograma das etapas de elaboração da pesquisa.	39
Figura 4 – Municípios que compõe a região de estudo	40
Figura 5- Representação esquemática do fluxo dos principais produtos e coprodutos para seu aproveitamento no complexo produtivo da região de Lages de SC.	54
Figura 6 - Consumo de matérias primas florestais (t/mês) por ramo das empresas.	56
Figura 7 - Tipo e quantidade de matéria-prima consumida (t/mês) por ramo de atuação.	57
Figura 8 – Esquema de consumo de água pelo setor.	60
Figura 9 – Aproveitamento interno e externo dos resíduos (t/mês).	63
Figura 10 – Finalidade de aproveitamento interno dos resíduos florestais (t/mês) conforme ramo de atuação das empresas.	65
Figura 11- Finalidade de aproveitamento externo dos resíduos florestais (t/mês) conforme ramo de atuação das empresas.	65
Figura 12 – Aproveitamento dos resíduos (t/mês), conforme ramo das empresas e finalidade de utilização.	67
Figura 13 - Consumo de energia: a) energia elétrica (kWh/mês); b) vapor obtido da queima de biomassa como combustível; e, c) combustíveis fósseis (t/mês).	70
Figura 14- Participação dos ramos de atuação no consumo total de energia (%).	71
Figura 15 – Quantidade de biomassa consumida e o vapor gerado por esse combustível.	73
Figura 16 - Relações de circularidade.	76
Figura 17 - Participação do setor nas variáveis de matéria-prima, energia e resíduos.	77
Figura 18 - Análise de aglomerados para pmpv, pebi e pemp.	78
Figura 19 - Dendrograma para as variáveis pdre, prcn, prec, prat e pri.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Implementação de Economia Circular conforme escala.	34
Tabela 2- Conversão da unidade de materiais.	45
Tabela 3- Poder calorífico dos materiais.	47
Tabela 4 - Atividades identificadas pelas empresas.	51
Tabela 5- Diagnóstico do ramo de atividade, porte e tempo de atuação das empresas.....	52
Tabela 6 - Classificação das matérias primas.	55
Tabela 7 - Raio de fornecimento das matérias primas.....	56
Tabela 8- Produtos relatados pelas empresas.	58
Tabela 9 – Rendimento de transformação de matéria-prima florestal em produto.	59
Tabela 10 - Fontes de captação de água.	60
Tabela 11 - Destino da água residuária.	61
Tabela 12 - Coprodutos/resíduos gerados conforme ramo de atuação das empresas.....	62
Tabela 13 - Aproveitamento interno e externo em cada ramo de atuação (%).	63
Tabela 14 - Destino dos resíduos florestais, para aproveitamento interno e externo, t/mês e %.	64
Tabela 15 - Quantidade de resíduos (t/mês e %) conforme sua finalidade de aproveitamento.	66
Tabela 16 - Consumo total dos tipos de energia em Joules.....	71
Tabela 17 - Clusters formados para pmpv, pebi e pemp.	78
Tabela 18 - Clusters obtidos para as variáveis dre, dcn, drec, dat e pri.....	81
Tabela 19 - Potencial poluidor por ramo de atividade.....	85

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estrutura metodológica: relação entre objetivos, variáveis da metodologia e resultados da pesquisa (continua).....	44
Quadro 2- Matriz de aspectos e impactos ambientais nos meios biótico, físico e social (continua).....	91

LISTA DE ABREVIACÕES

CP	Celulose e Papel
EC	Economia Circular
EMF	Fundação Ellen MacArthur
GEE	Gases de Efeito Estufa
Pa	Painéis
PE	Produção de Energia
PP	Processamento Primário
PPS	Processamento Primário e/ou Secundário
PPST	Processamento Primário, Secundário e Terciário
Re	Reciclagem
TC	Teor de cinzas
TU	Teor de umidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	OBJETIVO	25
1.1.1	Objetivo Geral.....	25
1.1.2	Objetivos Específicos	26
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	26
2	REVISÃO TEÓRICO-CONCEITUAL.....	27
2.1	A RELAÇÃO DA ECONOMIA COM A QUESTÃO AMBIENTAL	27
2.2	ECONOMIA CIRCULAR.....	30
2.3	APLICAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NA MESO ESCALA.....	36
2.4	O SETOR DE BASE FLORESTAL DA REGIÃO DE LAGES/SC.....	37
3	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.1	FASES DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA	39
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO	40
3.3	OBJETO DE ANÁLISE E AMOSTRA	41
3.4	ESTRATÉGIA DE COLETA DE DADOS.....	41
3.5	MODELO DE ANÁLISE E ESTRUTURA DE PESQUISA.....	42
3.6	VARIÁVEIS DE ANÁLISE.....	45
3.6.1	Materiais	45
3.6.2	Energia	46
3.6.3	Água	47
3.7	TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS	47
3.8	IMPACTOS AMBIENTAIS.....	49
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1	DIAGNÓSTICO DAS EMPRESAS	51
4.2	QUANTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS FLUXOS.....	52
4.2.1	Materiais	55
4.2.2	Produtos	58
4.2.3	Água.....	59
4.2.4	Resíduos	61
4.2.5	Energia	69
4.2.6	Relações de Circularidade.....	74

4.2.7	Análise Multivariada de Agrupamentos.....	77
4.2.8	Economia Circular no Setor de base florestal da região de Lages/SC.....	83
4.3	ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS	85
5	CONCLUSÃO.....	95
	REFERÊNCIAS.....	99
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO	111

1 INTRODUÇÃO

A produção intensiva, possibilitada pelos padrões de produção industrial, é uma facilitadora do atendimento às necessidades e comodidades de uma população em constante crescimento. Para tanto, a dependência dos recursos disponíveis é cada vez mais uma variável fundamental. Concomitantemente, o conhecimento científico que está se desenvolvendo acerca dos limites de nosso planeta em fornecer recursos e, a consciência ética de respeito à natureza que tudo nos provê e aos demais seres vivos que dependem de um ecossistema equilibrado, coloca em evidência a necessidade de repensar o modelo econômico e produtivo.

O pensamento dominante na economia tradicional considera não haver limites para sua evolução, onde o crescimento econômico é confundido com desenvolvimento (FERNANDEZ, 2011). A partir da necessidade de gerir recursos, a economia passou a incluir o meio ambiente como um apêndice em seu escopo, seus aspectos e impactos como externalidades que precisam ser resolvidas (CAVALCANTI, 2010), sem alterar, no entanto, o modelo linear de produção.

Tal modelo, extrair - produzir - descartar, de acordo com a Ellen MacArthur Foundation - EMF (2012, 2013, 2014) demonstra-se falho, apresentando desperdício de capital natural e monetário, de maneira a não respeitar os limites do ecossistema e apresentando limites na sua capacidade de prover para uma população em constante crescimento. Somado a este, a capacidade de consumo das pessoas também influencia nas demandas por recursos e energia. A emergência dos países em desenvolvimento pode resultar em três bilhões de novos consumidores da classe média até 2030 (MGI, 2011), demonstrando a necessidade de recursos disponíveis para que seja possível garantir a emergência de classes e fornecer qualidade de vida a toda população.

Dessa maneira fica evidente a necessidade de transição para um modelo econômico cíclico, que preze pelo tripé social, econômico e ambiental, visando promover o máximo aproveitamento dos recursos naturais, o respeito aos ciclos biológicos e a otimização do reaproveitamento nos ciclos técnicos, diminuindo o impacto ao meio ambiente. Outrossim, provendo para as atuais gerações, sem comprometer o acesso de recursos às próximas gerações.

Nesse contexto, insere-se o setor de base florestal. De acordo com Hoff et al. (2008), esse setor pode gerar impactos ambientais em todas as etapas de seu processo produtivo, de maneira que as economias relacionadas ao setor devem estar atentas para suas características na relação com o meio ambiente. Especificamente, as indústrias de base florestal geram grande

quantidade de resíduos no processo produtivo, além de ser responsável pelo elevado consumo de matéria-prima madeireira (BRAND et al., 2002).

No Brasil, a gestão florestal tem sido dominada por um modelo linear, no entanto, de acordo com a EMF (2017) algumas tendências importantes na transição para a economia circular (EC) já podem ser identificadas, como a certificação ambiental e o processo de restauração de áreas degradadas. Ainda de acordo com a fundação, é possível identificar oportunidades futuras para o Brasil nesse setor, com esforços em um modelo agrícola regenerativo, capaz de devolver os recursos biológicos à biosfera e restaurar os ecossistemas, e de ativos da biodiversidade. Além disso, pode-se estimular o desenvolvimento da biointeligência, ou seja, aplicar o conhecimento das comunidades tradicionais e de outros precursores de modelos regenerativos e do uso dos ativos da biodiversidade. É possível observar iniciativas nesse sentido pelas instituições brasileiras como a Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP que tem direcionado esforços em incluir a economia circular em seu escopo de atuação (FINEP, 2017).

O setor de base florestal, especialmente o complexo industrial da região de Lages, em Santa Catarina, configura-se como um polo florestal nacional. O município de Lages e região têm sua economia fortemente baseada nesse setor, com ampla base florestal, indústria de celulose e papel e indústrias que atuam na transformação da madeira em diferentes produtos (HOFF; SIMIONI, 2004; HOFF et al., 2008). O arranjo industrial forma um ecossistema industrial caracterizado como uma 'rede eco industrial' com empresas que possuem diversas possibilidades de cooperação (WAHRLICH, 2018), tais como o aproveitamento de matéria e energia entre seus diferentes membros. A formação de tais arranjos favorece a implementação da economia circular (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Vários trabalhos foram identificados para o estudo da ecologia industrial, simbiose industrial e economia circular em meso-escala (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016). No Brasil, especificamente, há um longo caminho a ser percorrido e as instituições de ensino possuem um papel importante nesse processo, conforme estudo de Sehnem, Pereira e Giotto (2018), que identificou as principais atividades com pesquisas voltadas à EC e os pesquisadores envolvidos. Entre as sugestões para avanço do tema no país, cita-se a pesquisa aplicada, com sinergia entre a academia e as empresas/indústrias e menciona-se que se deve considerar os sub-conceitos relacionados a EC, tal qual a simbiose industrial com ênfase nas relações Inter organizacionais locais e regionais.

Seguindo essa linha de raciocínio, esse trabalho propõe uma pesquisa aplicada, em parceria com empresas da indústria de base florestal da região de Lages, buscando avaliar e quantificar a circularidade em um ecossistema industrial com base no uso da biomassa florestal.

Dada a importância do setor industrial na região, espera-se com esse trabalho oferecer uma gama de possibilidades que visem a diminuição do impacto ambiental, aliados ao desenvolvimento regional oriundos da implementação da EC. Os resultados aqui encontrados poderão servir como informativo e estímulo para a implementação de políticas públicas de suporte à EC, como também para diversas associações locais e nacionais ligadas ao desenvolvimento do setor, dentre as quais: Associação Catarinense de Empresas Florestais (ACR), Sindimadeira, Sistema FIESC, Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP), Indústria Brasileiras de Árvore (IBA) e Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA).

Diante deste contexto, considerando as relações de troca relacionadas a biomassa florestal que ocorre em Lages e em seu entorno, as questões norteadoras para a presente pesquisa foram: i) como ocorrem os fluxos energético e de material e a preocupação com o fechamento do ciclo (economia circular)? ii) havendo relações de troca, como essas configuram a presença de economia circular?; iii) tais relações proporcionam redução da utilização de recursos naturais e dos impactos ambientais?

A partir de tais questionamentos, trabalhou-se com a hipótese de que a troca de resíduos de biomassa florestal para sua utilização como matéria-prima e aproveitamento energético como combustível, contribui para o fechamento do ciclo do complexo de produção de base florestal na região de Lages, diminuindo a necessidade do consumo de recursos virgens e a quantidade de resíduos que seriam considerados rejeitos.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

Analisar como o arranjo industrial da região de Lages, em Santa Catarina, realiza sinergias buscando um modelo de Economia Circular que incentiva a redução do uso dos recursos virgens e dos desperdícios, e que promova a diminuição do impacto ambiental do setor produtivo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Caracterizar as empresas do complexo industrial de base florestal da região de Lages, Santa Catarina, conforme o porte e as atividades desenvolvidas;
- b) Apresentar e analisar os fluxos de materiais, energia e água do ecossistema industrial e suas relações com o fechamento do ciclo produtivo no contexto da economia circular;
- c) Descrever como as ações que levam ao fechamento do ciclo e à economia circular contribuem para a redução dos impactos ambientais.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação foi estruturada em 5 capítulos, que contemplam: introdução, revisão bibliográfica, materiais e métodos, resultados e discussão e conclusão. O capítulo de revisão traz quatro seções: a primeira trabalha a evolução da relação entre a economia e o ambiente; a segunda apresenta a diferença entre o modelo linear e circular de economia, os princípios da economia circular, as escalas de aplicação da economia circular e sua introdução no Brasil; a terceira subseção trabalha a aplicação da economia circular na meso-escala; e, a quarta seção apresenta o setor de base florestal da região de Lages/SC.

O terceiro capítulo traz a metodologia do estudo, apresentando a região da pesquisa e o objeto de análise; explicando como foram definidas as variáveis, como foi elaborado o questionário e realizada sua aplicação; como foram preparados os dados; como foram adaptados os indicadores de economia circular para aplicação no estudo; o tratamento estatístico dos dados; e, como foi trabalhada a discussão de impactos ambientais.

O capítulo dos resultados é dividido em três subseções, referentes a cada um dos objetivos específicos. A primeira subseção apresenta uma descrição breve das empresas visitadas e entrevistadas, com relação ao seu porte, tempo de atuação e ramo de atividade. A segunda subseção é destinada à análise das variáveis matérias-primas, energia, água e resíduos, por meio da classificação quanto a origem das matérias-primas, tipos de energia, finalidade dos resíduos. Ainda, são apresentadas as relações de circularidade e a análise de aglomerados realizada sobre as empresas do setor na região de Lages. O capítulo ainda apresenta a terceira subseção, voltada aos impactos ambientais.

As conclusões do trabalho, reunindo os principais resultados obtidos, são apresentadas no capítulo 5.

2 REVISÃO TEÓRICO-CONCEITUAL

A presente revisão encontra-se dividida em quatro seções. A primeira trata da evolução da economia em relação a sua consideração ao meio ambiente, abordando como as questões pertinentes a esse tema passaram a ser incluídas no escopo da economia, até a proposta de um modelo de economia circular. A segunda seção expõe a economia circular, seus objetivos, princípios, escalas de aplicação e como o modelo busca reduzir a necessidade de recursos naturais através da otimização do uso dos resíduos. Na terceira seção discute-se brevemente sobre a aplicação da economia circular em meso-escala, por este ser o nível econômico principal escolhido para análise nesse trabalho.

2.1 A RELAÇÃO DA ECONOMIA COM A QUESTÃO AMBIENTAL

O desenvolvimento da sociedade sempre foi pautado no uso dos recursos disponíveis. Com o advento da revolução industrial, responsável por grande parte do progresso da sociedade moderna, a utilização de recursos atingiu uma escala nunca antes explorada (ARAÚJO et al., 2006). No entanto, a teorização da economia tradicional corresponde a uma época onde as necessidades básicas individuais nem sempre eram supridas. Isso, adicionado a aparente abundância dos recursos e a convicção de que a natureza servia para suprir as necessidades do homem (FERNANDEZ, 2011) resultou em um modelo ignorante às questões ambientais.

O modelo econômico tradicional considera não haver limites onde esbarrar, é autossuficiente (CAVALCANTI, 2010) e entende o capital manufaturado e o natural como substitutos (CECHIN; VEIGAS, 2010). A economia neoclássica está vinculada ao positivismo lógico, favorecendo a concepção de que o crescimento econômico virtualmente ilimitado seria necessário para o desenvolvimento econômico (FERNANDEZ, 2011). Tal postura diante do meio ambiente parecia se justificar enquanto eram limitadas às demandas e pressões em relação ao ecossistema (MUELLER, 1996).

Até meados da década de 1960 as teorias de crescimento econômico não levavam em conta os componentes ambientais, renováveis ou não. Os efeitos adversos do crescimento econômico sobre o meio ambiente começaram a ser questionados a partir das décadas de 1960 e 1970, quando a escassez de alguns recursos passou a configurar um problema para a humanidade (ANDRADE, 2008; FERNANDEZ, 2011; MUELLER, 1996).

O englobamento do meio ambiente no escopo ético da economia foi determinado, em parte, por duas ideologias: o antropocentrismo e o ecocentrismo. A principal diferença entre

ambos reside no fato que o primeiro considera que a natureza se encontra à disposição do homem, e quais as consequências para o homem de preservá-la ou degradá-la; enquanto isso, para o ecocentrismo, a consideração moral em relação a natureza não se deve ao seu uso ao homem, e sim devido a seu valor intrínseco, como colocar em risco a existência de uma espécie (KORTENKAMP; MOORE, 2001).

A partir do entendimento que os recursos disponíveis possuem uma capacidade esgotável e de que a extração sem ressalvas dos mesmos estaria comprometendo o desenvolvimento econômico e da sociedade, a inclusão do meio ambiente é realizado como um apêndice a economia (CAVALCANTI, 2010). Em razão do enfoque dado pelas teorias econômicas, privilegia-se apenas as interfaces entre a dinâmica do sistema econômico e o meio ambiente, de maneira que o esquema analítico para representação do sistema econômico é reducionista e limitado (ANDRADE, 2008).

A teoria ambiental neoclássica surgiu a partir do momento em que o sistema se viu compelido a incorporar considerações acerca da problemática ambiental (ANDRADE, 2008). Para tanto, foram realizadas apenas adaptações à economia neoclássica (MUELLER, 1996). Nessa vertente, o ambiente é passivo e neutro, e o enfoque está na mensuração dos impactos negativos causados pelo sistema, de maneira que estes assumem a forma de externalidades negativas (ANDRADE, 2008). A abordagem dos recursos naturais baseia-se na internalização das externalidades, pressupondo-se que todo recurso ambiental possa receber uma valoração monetária (FERNANDEZ, 2011).

Outra vertente a ser compreendida nesse segmento é a Economia Ecológica. Esta é cética ao crescimento por tempo indeterminado e considera que não existe uma solução tecnológica para todos os problemas, de maneira que a tecnologia e as organizações evoluem a partir de investigações e da utilização da natureza (CECHIN; VEIGAS, 2010; SALES; CÂNDIDO, 2015). A Economia Ecológica defende que a problemática ambiental não pode ser devidamente compreendida nos marcos da economia convencional e propõe assim, uma análise baseada na interdependência, complexidade e dinamismo entre os fatores, oferecendo uma abordagem na qual procura integrar a contribuição de várias perspectivas teóricas para se enfrentar a problemática ambiental (ANDRADE, 2008; FERNANDEZ, 2011; ÖZKAYNAK; ADAMAN; DEVINE, 2012).

A visão da economia ecológica entende que não é possível desintegrar os elementos da natureza, a produção, a organização social e destaca ainda aspectos culturais (SALES; CÂNDIDO, 2015). Nesse ponto, encontramos a ligação para o ecodesenvolvimento ou

desenvolvimento sustentável, uma vez que seus conceitos estão solidamente apoiados nesses princípios (FERNANDEZ, 2011).

O conceito de Desenvolvimento Sustentável foi divulgado na publicação do Relatório Bruntland - Nosso Futuro Comum pela Comissão Mundial para Meio Ambiente e Desenvolvimento - CMMD da Organização das Nações Unidas - ONU, em 1987, como “habilidade de suprir as necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas necessidades” (CMMD, 1987, p. 24). O desenvolvimento sustentável se apoia no conhecido tripé da sustentabilidade, ou *triple bottom line*, que integra as dimensões social, econômica e ambiental (ARAÚJO et al., 2006).

De acordo com Fernandez (2011) o ecodesenvolvimento e o desenvolvimento sustentável buscam a redefinição da economia como o estudo da provisão social, em âmbito socioambiental, numa situação que melhora a qualidade de vida da população, entendendo ser insatisfatório o tratamento das questões mediante o recurso da “internalização”. Ainda de acordo com os autores, essas formas de desenvolvimento entendem que as interações entre as três dimensões da sustentabilidade são regidas por relações de valores, dentre os quais está a manutenção da biodiversidade em consonância com os princípios ecológicos da resiliência ecossistêmica em escala global. Nesse mesmo período em que a ideia de desenvolvimento sustentável se fortalecia, as estratégias de resíduos e recursos e as possíveis relações de ganho mútuo oferecidos pelas sinergias, ou seja, as trocas de materiais, recursos humanos e informações, passavam a ser mais aceitas pela indústria (BLOMSMA; BRENNAN, 2017).

Nesse contexto, é inevitável o desenvolvimento de abordagens alternativas que sejam capazes de tratar as interdependências apresentadas pelo desenvolvimento global. Afinal “quando se percebe que para produzir crescimento destrói-se o meio ambiente e acentuam-se as desigualdades sociais, já não se pode mais isolar o setor econômico” (FERNANDEZ, 2011., p. 118).

De acordo com Blomsma e Brennan (2017) a lacuna de conhecimento em relação a gestão de resíduos e recursos, combinada com tentativas de tentar otimizar o uso dos recursos muitas vezes através de ciclos fechados, articulou o leque da economia circular. E se a aplicabilidade da economia circular traz melhores resultados na busca da sustentabilidade, então a mesma se torna uma ferramenta para o desenvolvimento sustentável (SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016).

2.2 ECONOMIA CIRCULAR

O modelo cíclico da economia é uma proposta de substituição ao modelo tradicional da atividade econômica, sendo importante compreender os motivos que levaram a necessidade urgente de se repensar o padrão produtivo que imperou durante décadas.

O modelo convencional da atividade econômica está baseado em um sistema linear, conforme indicado no esquema ilustrado na Figura 1, onde os recursos dão entrada em um lado do processo, com a saída dos produtos no outro (GEORGE; LIN; CHEN, 2015). Tal modelo, paralelo à produção em grande escala, dado os métodos de manufatura, resultava em produtos com grande disponibilidade e baixos custos (LIEDER; RASHID, 2016).

Figura 1 - Modelo convencional de atividade econômica com sistema de produção linear.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Todas as cadeias produtivas têm como objetivo principal os consumidores, sendo que cada consumidor adquire, anualmente, em torno de 800 kg de alimentos e bebidas, 120 kg de embalagens e 20 kg de roupas e calçados. No entanto, nesse sistema de fim de linha, 80 % desses produtos terminam em ponto morto (EMF, 2013).

No entanto, diferentes fatores indicam que esse modelo econômico está enfrentando desafios, em especial a degradação dos sistemas naturais dado ao esgotamento de reservas de baixo custo; as tendências regulatórias, dado ao esforço crescente dos reguladores para reduzir e precificar externalidades negativas; perdas econômicas e desperdício estrutural; riscos da escassez de oferta de recursos naturais e matérias primas (EMF, 2014), e nesse contexto também riscos à produção agrícola e segurança alimentar da população (EMF, 2012).

Há ainda de se considerar que as alterações nos preços das commodities dada a competição global por recursos e a concentração da oferta acabam por tornar a sociedade e a indústria vulneráveis aos preços elevados e volatilidade do mercado (LEITÃO, 2015). Nesse contexto, a economia circular surge como uma solução para harmonizar as ambições entre o crescimento econômico e a preservação ambiental (LIEDER; RASHID, 2016).

A origem da economia circular não pode ser traçada de volta a uma única data ou autor, uma vez que a mesma foi desenhada a partir da influência de diversas linhas de pensamento,

que surgiram a partir da década de 1970, sendo essas: o design regenerativo, a performance econômica, do berço ao berço, ecologia industrial, biominimética, natureza como modelo, como medida e como mentor (EMF, 2012; LEITÃO, 2015). Blomsma e Brennan (2017) destacam que esses novos campos trouxeram novas ideias e atitudes, como usar o sistema natural como um modelo para a sociedade e a indústria.

O aumento de atenção prestado à economia circular é em parte, devido a sua proposta de prover a base para o problema de como promover a produtividade ao mesmo tempo que considera as externalidades do processo produtivo e do consumo (SAUVÉ; BERNAD; SLOAN, 2016).

De acordo com a EMF (2015b) a economia circular tem como objetivo manter no nível mais alto de valor e utilidade os produtos, componentes e materiais, sendo assim concebida como “um ciclo contínuo de desenvolvimento positivo que preserva e aprimora o capital natural, otimiza a produtividade de recursos e minimiza riscos sistêmicos gerindo estoques finitos e fluxos renováveis.” (EMF, 2015b, p. 5).

De acordo com Sauv e, Bernard e Sloan (2016) a economia circular procura dissociar a prosperidade do consumo de recursos, ou seja, de como podemos consumir bens e serviços sem depender da extra o de produtos virgens e como o ciclo fechado poderia evitar a disposi o em aterros sanitários. Ainda segundo os autores, o modelo circular propõe um sistema onde o reuso e reciclagem de materiais prove substitutos para as matérias virgens (SAUV E; BERNAD; SLOAN, 2016).

Assim, essa economia pode ser entendida como:

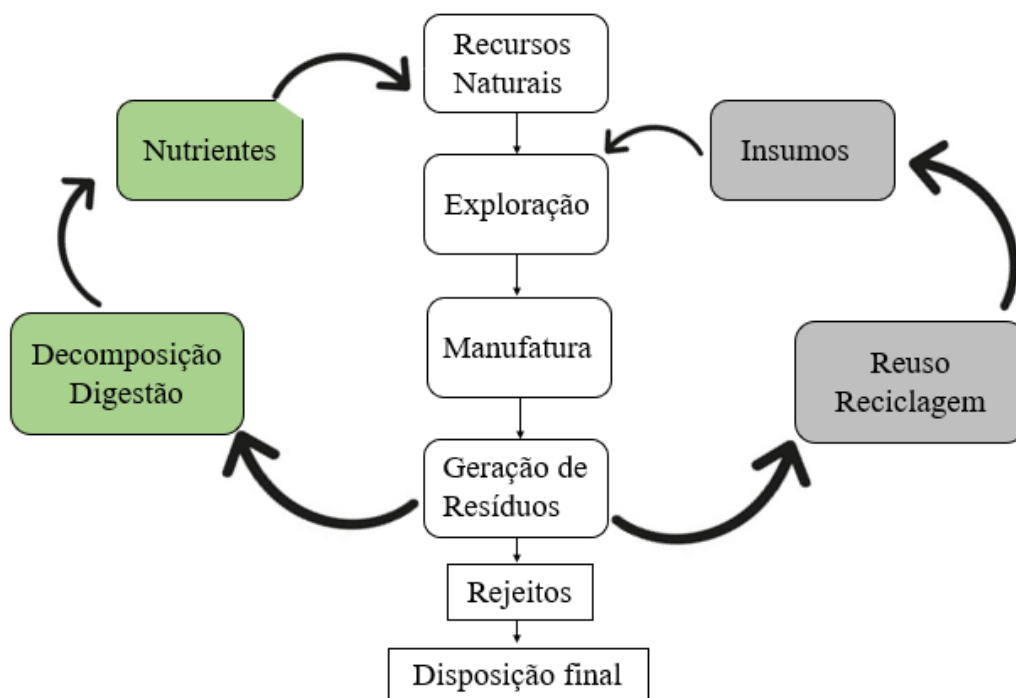
A Economia Circular   um sistema industrial restaurativo e regenerativo por intens o e design. Ela substitui o conceito de fim-de-vida com restaura o, desloca-se a favor do uso de energias renováveis, elimina o uso de químicos tóxicos que prejudicam a sua reutiliza o e o retorno   biosfera, e objetiva a elimina o de resíduos através do design superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de negócios (EMF, 2014, p. 14).

A aplica o do conceito de Economia Circular desenvolveu-se de maneira distinta em diferentes países, sendo que na Europa e na América do Norte a aplica o   principalmente voltada para a gestão de resíduos e redu o da gera o dos mesmos, e na China, o conceito   usado como um mecanismo para desenvolvimento de produtos, da tecnologia e da indústria (WINANS; KENDALL; DENG, 2017). De acordo com Su et al. (2013) a economia circular na

China foi adotada não como uma política de gestão ambiental e sim como um modelo de desenvolvimento econômico sustentável.

Devido a seus fundamentos, suas características e objetivos, o modelo cíclico de economia distingue os ciclos técnico e biológico, conforme ilustrado na Figura 2. O primeiro considera a gestão dos estoques finitos, sendo estes recuperados e restaurados ao ciclo técnico; o segundo abrange os fluxos de matérias renováveis, onde os nutrientes renováveis são regenerados, dentro do possível, ao ciclo biológico (EMF, 2012).

Figura 2 - Esquema circular de economia



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A restauração ao ciclo técnico pode ocorrer por meio da desmaterialização dos materiais, reuso direto de coproduto ou submissão a processos de reciclagem para então ser reinserido ao processo produtivo (EMF, 2012, 2013, 2014).

Já quanto ao ciclo biológico, dependendo o objetivo de aplicação desse material, haverá maior ou menor necessidade em garantir que este esteja livre de patógenos e tóxicos. O resíduo biológico pode ser submetido, para tratamento e possibilidade de maior extração de seus nutrientes, a processos de compostagem e digestão anaeróbica, com possibilidade de obtenção de biogás, para então serem aplicados ao solo de florestas e lavouras (EMF, 2012, 2013, 2014).

A EMF (2012) apresenta os princípios da economia circular:

- Aprimorar o capital natural controlando estoques infinitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis por meio de, quando possível, a desmaterialização de serviços e produtos, do uso sensato dos mesmos e do estímulo do fluxo de nutrientes dentro do sistema;

- Otimização do rendimento de recursos por meio da circulação de produtos, componentes e materiais, em ambos os ciclos técnicos e biológico. Isso significa optar pelos menores circuitos internos, compartilhamento de produtos, reinserção de nutrientes de maneira segura na biosfera de modo a transformá-los em matérias primas para um novo ciclo;

- Estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio.

A partir dos princípios supracitados promovem-se quatro fontes de criação de valor, capazes de mudar a taxa necessária de utilização de recursos e adicionar vantagens cumulativas sobre o modelo tradicional linear (EMF 2012, 2013, 2014, 2015b; WEF, 2014):

- O poder dos círculos menores: tais círculos preservam mais a integridade e a complexidade de um produto, a mão de obra embutida e energia investida. Por exemplo, reparar e manter um produto e quando isso não for mais possível, componentes individuais poderão ser reutilizados e remanufaturados;

- O poder dos círculos longos: maximização do número de ciclos e/ou o tempo de cada ciclo para os produtos;

- O poder do uso em cascata: refere-se à diversificação do reuso em toda a cadeia de valor, como por exemplo, uma roupa de algodão pode se reutilizada como roupa de segunda mão, depois passar ao setor de móveis e a fibra pode ser usada como lã-de-rocha para isolamento na construção civil;

- O poder dos insumos puros: o fluxo de materiais não contaminados aumenta a eficiência de coleta, distribuição e mantém a qualidade, incrementando a longevidade.

A economia circular, assim como outras ciências, desmembra-se em diferentes linhas de pesquisa. A multidisciplinaridade das ciências sociais, naturais, gestão e engenharia se tornou essencial para trabalhar com os desafios ambientais (SAUVÉ; BERNAD; SLOAN, 2016). Nesse sentido, Lieder e Rashid (2016) identificaram diferentes elementos de disciplinas e linhas de pesquisa e agruparam-nos de acordo com os seguintes temas: transformação das estruturas econômicas, design regenerativo, ecologia industrial, remanufaturamento e ciclos fechados de cadeias de fornecimento, manufaturamento conservativo de recursos e iniciativas governamentais.

A implementação desse modelo cíclico, nas diferentes linhas apresentadas, pode ser estudada de acordo com a escala econômica escolhida, sendo essas: micro, meso e macro. A implementação em cada escala pode ser realizada conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Implementação de Economia Circular conforme escala.

Micro – escala	Meso – escala	Macro – escala
Produção mais limpa Eco-design	Parque industrial Simbiose industrial	Rede industrial em cidades, estado e país

Fonte: Adaptado de Su et al. (2013).

Referindo-se a micro-escala, a adoção da economia circular implica na adoção do eco-design e de sistemas de P+L (produção mais limpas) em firmas (SU et al., 2013). Ainda, no segmento dos consumidores, significa investir na promoção do consumo responsável, através de informações e rótulos nos produtos que possibilitem aos consumidores saber os recursos utilizados para a produção do produto ou serviço que será consumido/utilizado (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Para a implementação em meso-escala, considera-se o complexo industrial, onde a colaboração entre firmas e sinergias, é favorecida pela proximidade geográfica, conduzindo à simbiose industrial e ao desenvolvimento de eco-parques industriais que incluem troca física de materiais, energia, água e co-produtos com o objetivo de obter vantagem competitiva através da abordagem coletiva (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; LIEDER, RASHID, 2016). Tal configuração tem sido bem estudada pela ecologia industrial, e conforme Ehrenfeld e Gertler (1997), o desempenho ambiental em grupos de empresas apresenta uma grande chance de sucesso devido a possibilidade do uso em cascata de materiais e energia.

Em se tratando da macro-escala, ou seja, nas cidades, estados e países, os autores consideram eco cidades, programas de lixo zero, assim como modelos de consumo coletivo, onde várias pessoas têm propriedade sobre um produto, ou, por exemplo, no sistema de caronas coletivas (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

A EMF (2015b) identificou as oportunidades econômicas que seriam geradas a partir da implementação do modelo cíclico de economia em diferentes escalas:

a) Crescimento do produto interno bruto pela combinação de aumento da receita das novas atividades da economia circular e redução dos custos de produção em função de uma utilização mais produtiva de insumos. Como exemplo, a fundação cita que o PIB europeu poderia crescer 11% até 2030 e 27% até 2050 ante 4% e 15% no atual cenário.

b) Reduções substanciais de custo líquido em materiais;

c) Potencial de criação de empregos amplamente atribuível ao aumento dos gastos estimulado por preços mais baixos em todos os setores, necessidade de mão de obra qualificada e intensiva necessárias na implementação da logística reversa;

d) Inovação para o design de processos e produtos cíclicos.

Em relação às oportunidades ambientais e sistêmicas, as principais a serem identificadas estão no contexto da redução das emissões de dióxido de carbono, sendo que as mesmas poderiam ser reduzidas em 48% até 2030; redução no consumo de materiais primários em até 32% até 2030; preservação e aumento da produtividade da terra e solo, uma vez que a implementação do modelo sistêmico poderia ajudar a substituir fertilizantes em até 2,7 vezes; e redução das externalidades negativas, como uso da terra, poluição do ar, da água e sonora, liberação de substâncias tóxicas e mudança climática (EMF, 2015b).

A fim de auxiliar na adoção e implementação da economia circular, a EMF (2015b) identificou um conjunto de ações que podem ser implementadas por governos e empresas visando a transição à economia circular, conhecido como a estrutura ReSOLVE: *REgenerate* (regenerar), *Share* (compartilhar), *Optimise* (otimizar), *Loop* (ciclar), *Virtualize* (virtualizar) e *Exchange* (trocar).

Também, lançou o programa CE100 – Circular Economy 100 – um programa inovador no qual empresas, governos, cidades, instituições acadêmicas, entre outros, colaboram para que criem oportunidades na economia circular. O CE100 Brasil foi lançado em outubro de 2015 e identificou diferentes oportunidades de crescimento, especialmente os setores de Agricultura e Ativos da Biodiversidade, Setor de Edifícios e Construção e Equipamentos Eletroeletrônicos (EMF, 2017).

Em relação aos setores de Agricultura e Ativos da Biodiversidade, ao qual a gestão florestal está inclusa, as oportunidades identificadas encontram-se em ampliar os esforços em modelos de negócios regenerativos, estimular o desenvolvimento do incipiente setor de biointeligência e alavancar a tecnologia digital para destravar o potencial da economia circular na bioeconomia. Como barreiras foram identificadas dificuldades de transferência de conhecimento, acesso a crédito para adoção de modelos regenerativos e necessidade de plataformas para facilitar investimentos em grupo (EMF, 2017).

A legislação brasileira possui como aspecto da economia circular a logística reversa, que foi instituído pelo governo brasileiro a partir da sua determinação pela Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010, referente a Política Nacional de Resíduos Sólidos (AZEVEDO, 2015).

Através das características do país, de economia em desenvolvimento e oportunidades de crescimento nos mais diversos setores, em particular dado ao alto potencial de produção agrícola e florestal, apresenta-se um amplo campo de estudo e investimentos no modelo circular de economia no Brasil.

2.3 APLICAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NA MESO ESCALA

A aplicação da economia circular em meso-escala está ligada aos estudos de ecologia e simbiose industrial. A ecologia industrial estuda a perspectiva sistemática de fluxos de energia e materiais dentro e fora do sistema industrial, além das dinâmicas tecnológicas (LIEDER, RASHID, 2016). A simbiose industrial é a configuração dessas indústrias que, engajadas em um complexo industrial, praticam a interdependência e trocas de recursos e energia (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016).

Seguindo tal raciocínio, entende-se que a prática da economia circular em meso-escala está voltada aos ecossistemas industriais, onde pode ocorrer o compartilhamento de materiais, energia, resíduo, além de infraestruturas e serviços (SU et al., 2013). De acordo com Korhonen (2004) a eficiência nunca poderá deixar de ser relacionada com os fluxos de materiais naturais e energia, uma vez que não há como substituir por capital monetário a necessidade dos recursos naturais. Tal compartilhamento ajuda as empresas a diminuir sua dependência de recursos externos, além de reduzir as externalidades ambientais (SU et al., 2013).

Grande parte dos estudos de aplicação da economia circular em meso-escala são oriundos de estudos realizados na China (WINANS; KENDALL; DENG, 2017). O país é um dos maiores produtores no mundo e possui amplas redes industriais, onde busca-se aplicar o conceito de simbiose industrial afim de reduzir os problemas ambientais e dependência em recursos, além de incentivar a produtividade e a competitividade (BANAITÉ, 2016).

O estudo dos complexos industriais em nível global evoluiu no sentido em que há mais ênfase na valorização de recursos e resíduos. Apesar de poucos estudos terem sido realizados com foco na indústria de papel e madeira, que consome alta quantidade de energia e recursos, alguns estudos realizados demonstraram o potencial desse setor industrial quando submetido a um modelo circular em realizar sinergias de matéria e energia além de diminuir suas emissões de gases de efeito estufa – GEE (WINANS; KENDALL; DENG, 2017).

É importante mencionar que para o sucesso da aplicação da economia circular em meso-escala, faz-se necessário uma abordagem multidisciplinar, através de indicadores de fluxos de recursos, energia, emissões de poluentes, e ainda considerar a análise de ciclo de vida para a

correta avaliação da performance ambiental (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; POMPONI; MONCASTER, 2017).

2.4 O SETOR DE BASE FLORESTAL DA REGIÃO DE LAGES/SC

A área de abrangência do estudo teve seu processo de industrialização tardio, com poucas empresas e baixa agregação de valor, sendo as serrarias consideradas as primeiras indústrias da região de Lages (HOFF; SIMIONI, 2004).

Especificamente em relação ao planalto serrano, o desenvolvimento do setor madeireiro teve seu auge no final dos anos 1940, junto ao declínio do setor na região oeste do estado (HOFF; SIMIONI, 2004). As décadas de 1940 a 1960, caracterizadas como o 1º ciclo da madeira, marcaram o ápice da extração da *Araucaria angustifolia*, espécie nativa com excelentes qualidades para produção de papel e celulose (BRAND; NEVES, 2005) configurando a região como um importante polo madeireiro. A economia em torno da madeira, que fez com que surgissem novas atividades econômicas que oferecem suporte à extração da madeira, teve seu declínio em 1970, devido à exaustão das reservas naturais de araucária e a proibição de extração da mesma (HOFF; SIMIONI, 2004).

A presença das indústrias de papel e celulose e incentivos fiscais impulsionaram o plantio de florestas entre as décadas de 1960 a 1980, que teve foco principal em árvores do gênero *Pinus* (BRAND; NEVES, 2005). A partir da década de 1990, com a maturação das florestas e sua utilização também pelo setor de transformação de madeira, houve o reaquecimento do setor e a criação de um novo aglomerado geográfico de empresas florestais no Planalto Serrano, considerado por Hoff e Simioni (2004) como o *cluster* da madeira.

De acordo com autores que estudaram o tema (HOFF; SIMIONI, 2004; RABELLOTTI, 1995; SCHMITZ, 1997), *cluster* é um aglomerado geográfico e/ou setorial de empresas de pequeno e médio porte, onde elas normalmente concorrem entre si. Quanto ao *cluster* da madeira, o mesmo caracteriza-se pela presença de pequenas e médias empresas do ramo de transformação primária e secundária, com foco na produção de madeira serrada, beneficiada para uso na construção civil ou na forma de painéis, artefatos e pela presença da indústria moveleira. Há ainda a cadeia de papel e celulose, composta na região por uma única grande empresa, verticalmente integralizada.

O mapeamento da quantidade de resíduos florestais gerados pelo setor (BRAND et al. 2001; BRAND; NEVES, 2005; SIMIONI; ANDRADE, 2006) evidenciou a necessidade de uma

destinação apropriada dos mesmos, havendo a possibilidade de aproveitamento de grande parte dos resíduos gerados pelas próprias empresas do setor e para geração de energia.

Com base nos estudos realizados, a primeira empresa do Brasil a produzir energia elétrica e vapor a partir de biomassa como combustível foi instalada em Lages em meados dos anos 2000 (CORONEL et al., 2007). Surgiu assim um mercado de resíduos, a princípio de maneira desorganizada, que contribuiu para a entrada de novas empresas no setor florestal, que passaram a fornecer resíduos para a cogeração de energia (SIMIONI, 2007; SIMIONI; HOEFLICH, 2009; HOFF et al., 2008).

Ainda de acordo com Hoff et al. (2008), essa nova configuração, que podia ser entendida como um ecossistema industrial simples, levou as empresas a obterem uma nova forma de renda e darem destino correto aos resíduos que antes ficavam dispostos nos seus pátios e se configuravam como um passivo ambiental. Ainda, empresas que dependiam da geração de vapor em seus processos, incorporaram também o uso de biomassa em suas caldeiras, em detrimento de fontes não renováveis de combustível.

A diversificação da atividade econômica, sobretudo com o maior uso da biomassa para fins energéticos, levou a consolidação da cadeia produtiva de energia dentro do complexo madeireiro (SIMIONI, 2007). A cadeia produtiva, conforme estudo de Castro (2001) e revisão de estudos de Morvan (1998) *apud* Simioni e Hoeflich (2007), é uma sucessão de operações de transformação, relações comerciais e financeiras que estabelecem fluxos de troca e ações econômicas e valoração das operações, assegurando a articulação das operações e suprindo o consumidor final.

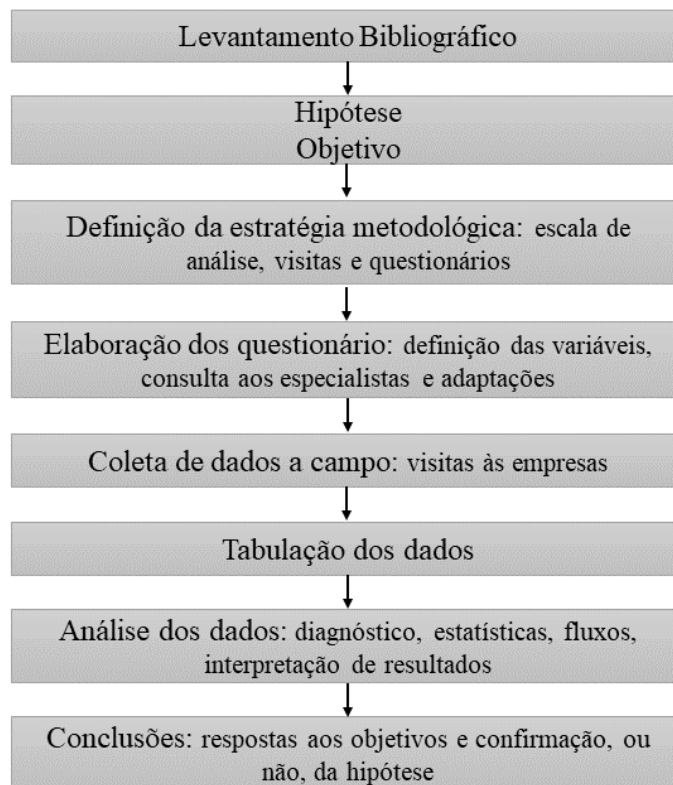
Pode-se considerar assim, que hoje o setor de base florestal da região possui empresas e apresenta serviços nas cinco cadeias produtivas da madeira em que o complexo da madeira está subdividido, conforme mencionadas por Simioni e Hoeflich et al. (2007): cadeia produtiva da madeira sólida, cadeia produtiva do papel, cadeia produtiva dos painéis, cadeia produtiva de móveis e cadeia produtiva de energia. Tais cadeias produtivas que compõem o complexo produtivo de base florestal na região configura a formação de um ecossistema industrial (WAHRLICH, 2018), no qual as trocas de matéria e energia representam a circularidade da economia.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 FASES DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A Figura 4 apresenta as etapas de desenvolvimento da pesquisa, que teve duração de dois anos. A pesquisa preliminar, com levantamento bibliográfico do tema, definição do objetivo, método de levantamento de dados e das escalas a serem estudadas ocorreu no primeiro semestre de 2017. A definição das variáveis, elaboração do questionário e consulta aos especialistas ocorreram no início do segundo semestre de 2017. A coleta de dados em campo, com visitas às empresas para entrevistas e aplicação de questionários ocorreu entre os meses de novembro de 2017 e fevereiro de 2018. A tabulação dos dados foi feita em paralelo às visitas. A análises dos dados para diagnóstico das empresas e estatística descritiva foram realizadas no primeiro semestre de 2018. A caracterização dos fluxos de materiais e energia, a análise multivariada, identificação dos impactos ambientais, interpretação dos resultados e conclusões foram realizadas no segundo semestre de 2018.

Figura 3 – Fluxograma das etapas de elaboração da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

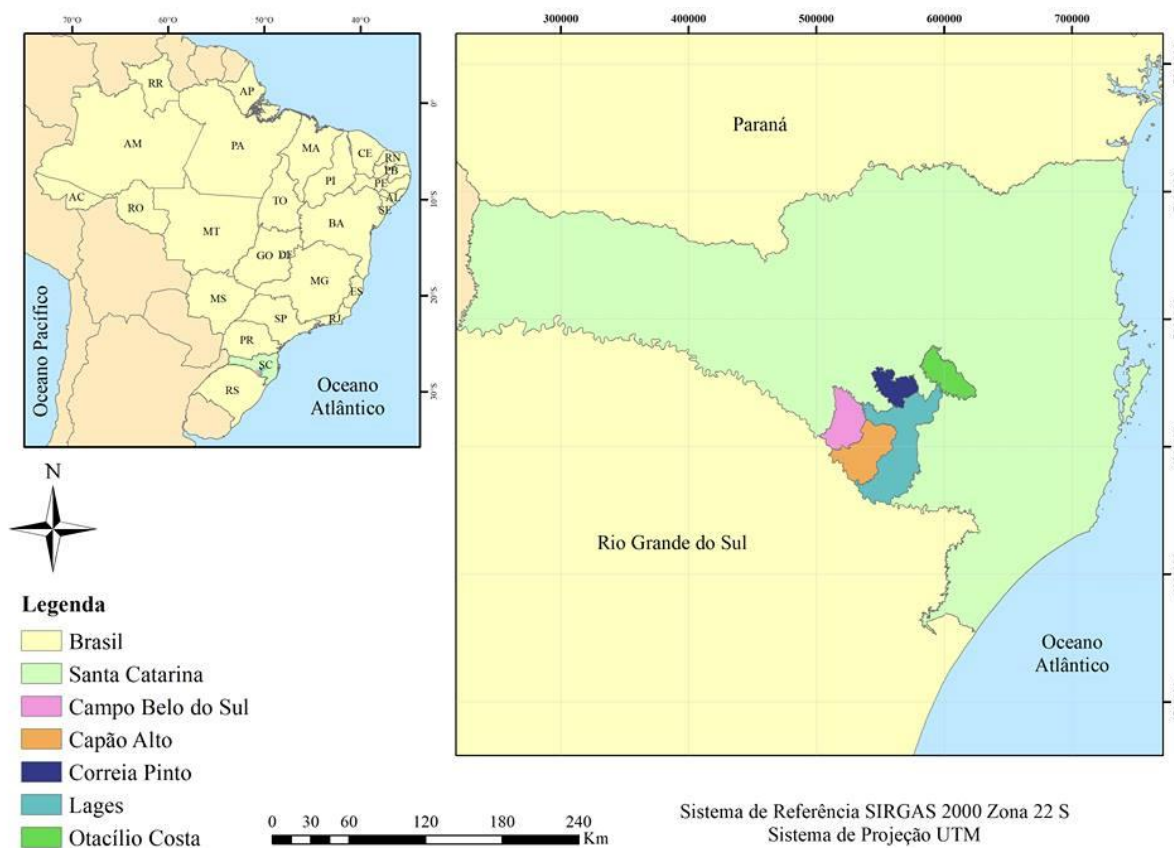
3.2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A pesquisa foi realizada junto ao Laboratório de Gestão e Economia Ambiental (LabGEA) do CAV/UDESC – Lages, vinculado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais – PPGCAMB.

A área de abrangência da pesquisa foi a região de Lages/SC (Figura 4), localizada na região de Lages do estado de Santa Catarina, contemplando os municípios de Campo Belo do Sul, Capão Alto, Correia Pinto, Lages e Otacílio Costa. A região possui área territorial de 6.491,117 km² e uma população estimada, para o ano de 2018, de 198.930 habitantes. O maior município da região, Lages, possui área territorial de 2.631,504 km², uma população estimada para 2018 de 157.743 habitantes e PIB per capita de R\$ 29.930,95 (IBGE, 2019).

Quanto ao Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) desses municípios, Lages é o município mais desenvolvido, com IDH 0,770, considerado alto (entre 0,700 e 0,799), acompanhado nesse intervalo pelos municípios de Correio Pinto e Otacílio Costa, enquanto Campo Belo do Sul e Capão Alto possuem IDH Médio (entre 0,600 e 0,699) (AMURES, 2018).

Figura 4 – Municípios que compõe a região de estudo



Fonte: Wahrlich (2018).

3.3 OBJETO DE ANÁLISE E AMOSTRA

O foco da pesquisa foi a indústria de base florestal da região da cidade de Lages e seu entorno, localizada na região serrana de Santa Catarina, que constitui um arranjo produtivo centrado na utilização da madeira para usos múltiplos, seja para produção de celulose e papel, painéis, madeira serrada, artefatos de madeira/móveis e energia. Este arranjo consiste de uma rede de organizações onde os resíduos (casca, cavaco, serragem e outros) de umas empresas são utilizados por outras, o que caracteriza a formação de um ecossistema industrial, conforme descrito por Wahrlich (2018).

Para a seleção das empresas estudadas, foram levantadas aquelas pertencentes ao Sindimadeira - Sindicato das Indústrias de serrarias, Carpintarias e Tanoarias de Lages e pelo SINPESC – Sindicato das Indústrias de Celulose e Papel de Santa Catarina. A partir da listagem inicial de 52 empresas, uma triagem foi realizada, excluindo as empresas cujo ramo de atuação não estava no escopo do estudo, ou seja, as de atuação exclusiva com operações florestais e comércio de madeira. Também foram excluídas as que estavam em municípios fora do escopo geográfico e aquelas que não apresentaram interesse em participar do estudo.

Durante as visitas, foram incluídas 4 empresas recomendadas por aquelas já visitadas devido às suas características de simbiose, totalizando 23 empresas. Destaca-se aqui quando, quando se menciona empresa, está-se referindo a unidade fabril. Isto pois, algumas das unidades fabris pertencem a empresas com outras unidades, mesmo internacionais. Logo, as análises aqui realizadas, têm foco no porte e ramo de atividades desenvolvida pela unidade fabril.

3.4 ESTRATÉGIA DE COLETA DE DADOS

A coleta de dados teve como instrumentos a aplicação de questionário e entrevistas. A metodologia para tal foi baseada em Castro, Lima e Silva (2010), que relacionaram as principais técnicas de pesquisa que podem ser aplicadas em estudos de cadeiras produtivas.

O questionário visou obter dados relativos ao funcionamento de cada empresa, voltados sobretudo à troca de matéria, energia e ao consumo de água. O mesmo foi aplicado durante as visitas, previamente agendadas e seguindo um roteiro semiestruturado, que de maneira geral, consistia em:

- a) Apresentação dos pesquisadores presentes e dos objetivos do estudo aos representantes das empresas;
- b) Entrevista com os representantes e aplicação do questionário previamente elaborado para levantamento das principais variáveis de interesse;
- c) Visita guiada pelos representantes ao processo produtivo das empresas, com registro fotográfico do mesmo.

A elaboração do questionário foi feita pela autora, com apoio da equipe de pesquisa do Laboratório de Gestão e Economia Ambiental do CAV/UEDESC. Após a elaboração, o questionário foi encaminhado para consulta de especialistas da área, com contribuições de 7 profissionais, das áreas de engenharia florestal, engenharia ambiental e gestão ambiental, 3 de universidades nacionais e 4 de universidades internacionais. A escolha desses profissionais se deu mediante o conhecimento de sua atuação na área. Após a resposta dos especialistas, foi efetuada a reformulação no questionário e, então, realizou-se uma aplicação piloto deste em visita a uma das empresas mapeadas para o estudo. A partir desta, foram realizados ajustes adicionais e obtida a versão final do questionário para aplicação nas demais empresas.

O questionário (Apêndice A) foi dividido em 4 seções, sendo: I) Seção I – Diagnóstico/características da empresa; Seção II - Entradas no processo produtivo, incluindo materiais, energia e água; Seção III - Período de produção, com relação aos produtos e embalagens; Seção IV - Resíduos da produção, com relação às águas residuárias e aos resíduos sólidos; e, Seção IV – Comparação temporal, com perguntas abertas acerca das modificações realizadas na empresa.

3.5 MODELO DE ANÁLISE E ESTRUTURA DE PESQUISA

A análise foi realizada em micro e meso-escala, compreendendo as relações dentro e entre firmas. Para o diagnóstico das empresas, a classificação do porte foi feita considerando a unidade fabril, de acordo com o número de funcionários, conforme o Anuário do Trabalho nos Pequenos Negócios de 2015: Microempresa (até 19 pessoas); Pequena empresa (20 a 99 pessoas); Média empresa (100 a 499 pessoas); e Grande empresa (500 ou mais pessoas) (SEBRAE, 2017).

O ramo de atuação das empresas, ou seja, das unidades fabris visitadas, foi definido levando em consideração as transformações primárias, que compreendem operações de desdobro, transformações secundárias, compreendendo atividades de beneficiamento e as

transformações terciárias, que compreendem a entrega de produtos refinados (SIMIONI; HOEFLICH, 2007).

Além dessa classificação, foram observadas também as principais atividades desenvolvidas pelas empresas/unidades fabris, conforme relatado por essas. Dessa maneira, vislumbrou-se a necessidade de incluir mais ramos de atuação além dos três acima descritos. Isso pois, apesar da atividade de Painéis estar inclusa dentro das transformações secundárias e de Celulose e Papel estar inclusa nas transformações terciárias, devido a suas expressividades no sentido de capacidade produtiva, geração de empregos e movimentação econômica, foi considerado inapropriado mantê-las dentro do mesmo grupo que por exemplo, empresas que produzem artefatos de madeira (transformações secundárias) mas que não possuem a mesma expressividade que as acima mencionadas. Ademais, há também o caso das empresas de reciclagem e produtoras de energia, que se considerou não se encaixarem nas atividades acima descritas, de maneira que para essas também foram considerados ramos diferenciados.

Dessa maneira, foram utilizados sete ramos de atuação, sendo esses: Processamento Primário (Pp), Processamento Primário e/ou Secundário (Pps), Processamento Primário, Secundário e Terciário (PPST), Painéis (Pa), Celulose e Papel (CP), Reciclagem (Re) e Produção de Energia (PE).

Para definição das variáveis, foi feito o levantamento de estudos com proposição de indicadores de análise de circularidade e sustentabilidade empresarial, tendo como norteadores os indicadores sugeridos pela EMF e Granta Design (2015) e os indicadores compilados por Su et al. (2013), Global Reporting Initiative – GRI (2015), European Academies Science Advisory Council – EASAC (2016), Cayzer, Griffiths e Berghetto (2017), Iacovidou et al. (2017) e Pauliuk (2018).

Das variáveis apresentadas por esses estudos foram selecionadas para o presente trabalho aquelas que se entendeu que seriam possíveis de serem obtidas com as empresas ou inferidas e que ainda assim representariam os fluxos importantes para a EC. Essa decisão baseou-se no fato de que nem todas as empresas possuem um detalhado inventário de seus processos e também no sigilo envolvido.

Nesse sentido, se destaca a opção por não utilizar variáveis monetárias no trabalho. Apesar de destacado por vários autores a importância em se considerar os custos e lucros envolvidos, para que seja possível demonstrar a viabilidade dos processos e subsidiar tomadas de decisões pelos *stakeholders* (IACOVIDOU et al., 2017; LINDER; SARASINI; LOON, 2017; SCHEEPENS; VOGTLANDER; BREZET, 2016; ZHOU et al., 2017), neste trabalho a

variável monetária não foi contemplada, visando facilitar a relação com as empresas e a receptividade do estudo perante as mesmas.

A abordagem metodológica apresentando a relação entre as variáveis e os objetivos e como as mesmas serão trabalhadas nos resultados, é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Estrutura metodológica: relação entre objetivos, variáveis da metodologia e resultados da pesquisa (continua).

Objetivo	Metodologia		Resultados e Discussão
	Caráter da análise	Variáveis	
Realizar o diagnóstico das empresas	Qualitativo	Diagnóstico das empresas Ramos de atuação Porte das empresas Tempo de atuação	Breve caracterização do setor industrial madeireiro da região de Lages
Descrever e analisar o fluxo de materiais, energia e água no contexto da economia circular	Quantitativo e Qualitativo	Materiais: <u>Matéria-prima</u> *Matéria Virgem *Material de reuso *Material reciclado <u>Produto</u> *Quantidade *Destino *Embalagens <u>Resíduo</u> *Uso interno: -Reuso/ ciclo de nutrientes/ recuperação energética *Uso Externo: -Reuso/ ciclo de nutrientes/ recuperação energética/aterro Energia: *Elétrica *Térmica com biocombustível biomassa *Combustíveis Fósseis Água: *Fonte *Destino da água residuária	Apresentação de análise das variáveis por meio de Estatística Descritiva, Análise Multivariada de Aglomerados e Rede de fluxos de materiais

Quadro 1 – Estrutura metodológica: relação entre objetivos, variáveis da metodologia e resultados da pesquisa (conclusão).

Descrever como os fluxos contribuem para a redução dos impactos ambientais.	Qualitativo	*Análise dos resultados obtidos no capítulo 2 para as variáveis materiais, energia e água *Pesquisa bibliográfica sobre a influência das variáveis nos impactos ambientais.	Discussão da redução de impactos ambientais relacionando às relações de circularidade encontradas.
---	-------------	--	--

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

3.6 VARIÁVEIS DE ANÁLISE

3.6.1 Materiais

Os dados com relação à variável materiais incluem dados de matérias-primas, produtos e resíduos. Os dados foram recebidos nas unidades disponibilizadas pelas empresas (m², L, m³, kg, t). Para a realização de estatísticas, fatores de conversão baseados na densidade do produto foram utilizados, conforme os valores da Tabela 2, após conversão para unidade de peso, todos os materiais foram convertidos para toneladas (t).

Tabela 2- Conversão da unidade de materiais.

Material	Densidade média (g/cm ³)	Fonte
Casca	0,265	Simioni (2007).
Cavaco	0,350	Simioni (2007).
Destopo	0,475	Brand; Neves (2005).
Fibra de Eucalipto	0,510	Gonçalez et al. (2014).
Fibra de Pinus	0,45	Indústrias visitadas*.
Maravalha	0,125	Simioni (2007).
Madeira Serrada Verde	1,2	Indústrias visitadas.*
Madeira Serrada Seca	0,45	Indústrias visitadas.*
Pó de lixa	0,300	Indústrias visitadas.*
Serragem	0,400	Simioni (2007).
Tora de Pinus	0,460	Amorim; Gonçalez; Camargos (2013).
Tora de Eucalipto	0,560	Amorim; Gonçalez; Camargos (2013).

Fonte: Elaborado pela autora (2018). *esses valores foram obtidos durante as entrevistas nas empresas. A descrição dos materiais é encontrada em Wahrlich (2018), p. 69-72.

Para a análise dos materiais, na perspectiva da entrada dos materiais como matérias-primas no processo produtivo, foram consideradas as categorias de matéria-prima virgem,

coproduto e material reciclado. Já na perspectiva de saída do setor, todos os materiais foram considerados como resíduos, sendo a sua finalidade trabalhada entre as categorias de reuso/reciclagem, recuperação energética, ciclagem de nutrientes e aterro.

Para essas categorias, considerou-se os seguintes conceitos (EMF, 2015a):

- a) **Matéria virgem:** material que não foi previamente utilizado ou consumido, ou sujeito a outros tipos de processos;
- b) **reuso:** reintroduzir o produto para o mesmo propósito e forma original, ou ainda, componentes individuais do produto a serem reintroduzidos de maneira funcional;

Para a classificação das matérias-primas identificadas no setor, foi observada também a de resíduos de biomassas para seu aproveitamento segundo Brosowski et al (2016), onde os autores classificam os resíduos da produção da indústria florestal em coprodutos e reciclados. Partindo da classificação destes e da EMF (2015a), considerou-se:

- c) **coproduto:** os resíduos de biomassa oriundos da obtenção dos produtos principais;
- d) **materiais de reciclagem:** aqueles cuja reutilização exigiu que fossem submetidos a um processo de transformação.

Quanto aos resíduos e rejeitos, é importante lembrar que há uma distinção entre esses. Enquanto resíduos são materiais descartados com possibilidade de aproveitamento, de acordo com a Lei 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil, rejeitos são resíduos cujas possibilidades de tratamento e recuperação estão esgotadas, devendo ter uma destinação final adequada (BRASIL, 2010).

3.6.2 Energia

Para análise de energia, o consumo foi caracterizado entre energia oriunda de combustíveis fósseis, energia elétrica e energia obtido por meio de biocombustível. Os combustíveis referem-se aos usados para as máquinas no processo produtivo e aquecimento, a energia elétrica compreendendo o processo produtivo e escritórios e o combustível de biomassa usado para obter vapor, ou seja, energia térmica consumida nas caldeiras.

Em relação aos dados de energia térmica, a maioria das firmas soube informar a quantidade de biomassa utilizada como combustível, no entanto, não souberam informar a quantidade de vapor gerado. Assim, o vapor gerado foi estimado, considerando: o rendimento das caldeiras, o teor de umidade (TU) da biomassa e o poder calorífico (PC) da mesma. Especificamente para a madeira, deve-se considerar o poder calorífico líquido (PCL), que

considera além da energia gasta para evaporar água gerada durante a combustão da madeira, também o TU natural da madeira (BRUTTI, 2005).

Por meio de estudos sobre a geração de energia pela unidade de cogeração presente na região, foi obtida a relação de produção de vapor gerado por biomassa consumida. A biomassa na região de Lages apresenta um teor de umidade médio entre 50% e 60% (BRUTTI; SIMIONI, 2006; DEBONI, 2017), sendo que para esta o PCL é de 1850 Kcal/kg (DEBONI, 2017). Assim, o rendimento das caldeiras foi considerado em 85% (BRUTTI, 2008) e foi assumido uma relação de 2/1 de geração de vapor, ou seja, que se obtêm duas toneladas (t) de vapor para cada tonelada de biomassa utilizada como combustível na caldeira (JARENKOW, 2018).

Para fins de comparação entre os diferentes tipos de energia utilizados, foi utilizado Joule como unidade padrão. Para tanto, foi considerado a conversão de caloria para Joules em 4,1868 J/cal e a conversão de kWh em Joules $3,6 \cdot 10^6$ J/kWh (ANEEL, 2008). O poder calorífico para os materiais utilizados como fonte de combustível está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3- Poder calorífico dos materiais.

Material	Poder calorífico	Fonte
Biomassa da região	1850 kcal/kg	(DEBONI, 2017)
Gasolina	8325 kcal/L	(PETROBRÁS, 2018)
Diesel	9160 kcal/L	(PETROBRÁS, 2018)
Gás	9400 kcal/ m ³	(PETROBRÁS, 2018)
Óleo A1	10310 kcal/kg	(PETROBRÁS, 2018)
GLP	11750 kcal/kg	(PETROBRÁS, 2018)

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

3.6.3 Água

Para a variável água, foram analisadas as fontes de captação de água, os principais usos da água no processo produtivo e os destinos dados para a água residuária. Quanto ao consumo de água, os dados do volume de água consumida pelas empresas foram disponibilizados apenas por algumas empresas, uma vez que nem todas possuíam um controle apurado desse consumo. Por esse motivo foi escolhido não utilizar esses dados para análise.

3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

O tratamento estatístico dos dados foi realizado considerando a estatística descritiva e a análise multivariada. Para obtenção da estatística descritiva, os dados foram trabalhados no

software Microsoft Excel 2016 (MICROSOFT CORP., 2016) com a utilização de planilhas dinâmicas, buscando obter dados médios e de proporções para as variáveis de interesse.

A análise multivariada foi realizada por meio da Análise de Aglomerados ou Análise de *Clusters*. A análise foi realizada no *software* IBM SPSS Statistics Versão 25 (IBM CORP., 2017). Essa análise foi escolhida por permitir reunir objetos, dividindo um grande número de informações em grupos menores, baseando-se nas características dos mesmos e, assim classificá-los segundo as similaridades que um elemento tem em relação a outros pertencentes a um grupo, de maneira que o grupo resultante deve exigir homogeneidade interna e heterogeneidade externa (LATTIN; CARROL; GREEN, 2011; POHLMANN, 2014).

Na análise de *clusters* supõe-se que o pesquisador conheça suficientemente sobre o problema para distinguir ‘bons’ de ‘maus’ agrupamentos. Ainda, nos estudos que se deseja fazer alguma inferência a partir de um conjunto de dados, supõe-se existir alguma estrutura ou agrupamento conhecido nos dados que estão sendo examinados (POHLMAN, 2014).

O método de agrupamento para esta pesquisa foi o método de Ward e a similaridade foi mensurada por meio de medidas de dissimilaridade, calculadas pela Distância Euclidiana Quadrada, de maneira que os resultados obtidos significam que quanto menor o valor observado, mais semelhantes os objetos são entre si (LATTIN; CARROL; GREEN, 2011; POHLMANN, 2014).

O método de Ward busca juntar os dois agrupamentos cuja fusão dá origem à menor variância dentro do grupo e baseia-se assim na minimização das distâncias entre os grupos, formando agrupamentos mais homogêneos (LATTIN; CARROL; GREEN, 2011).

A Distância Euclidiana, segundo Pohlman (2014) é a forma de medida mais empregada, atribuindo peso igual a cada variável. Ela é definida pela Equação 1, onde d_{ij} é a distância euclidiana entre os objetos i e j (LATTIN; CARROL; GREEN, 2011):

$$d_{ij} = \left[\sum_k (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

Devido a escolha do método de Ward como método de agrupamento, obedeceu-se a determinação de utilizar a Distância Euclidiana Quadrada.

Como algoritmo foi escolhido o procedimento hierárquico aglomerativo, por meio da representação na forma de Dendrograma, onde o número de grupos é diminuído a cada passo, sendo que os resultados de um estágio anterior são sempre incluídos dentro dos resultados dos estágios seguintes (POHLMAN, 2014).

Como variáveis foram utilizadas:

- Participação relativa de matéria-prima virgem (pmpv);
- Participação relativa no consumo de energia obtida da biomassa como combustível (pebi);
- Rendimento na transformação de matérias-primas em produtos (pemp);
- Participação relativa de aproveitamento interno dos resíduos (pri);
- Participação relativa de resíduos com finalidade para reuso (pdre);
- Participação relativa de resíduos com finalidade para ciclagem de nutrientes (prcn);
- Participação relativa de resíduos com finalidade para recuperação energética (prec);
- Participação relativa de resíduos com finalidade para aterro (prat).

Foram inseridos os resultados dessas variáveis para as 23 empresas visitadas cujos casos foram rotulados pelas siglas de seus ramos de atuação pelos quais foram classificadas para este trabalho, sendo:

- Painéis (Pa)
- Processamento primário (PP)
- Processamento primário e/ou secundário (PPS)
- Processamento primário, secundário e terciário (PPST)
- Painéis (Pa)
- Celulose e Papel (CP)
- Produção de Energia (PE)
- Reciclagem (Re)

3.8 IMPACTOS AMBIENTAIS

A avaliação de impactos ambientais foi realizada no intuito de entender como a Economia Circular está ajudando na diminuição de impactos ambientais negativos.

De acordo com a NBR ISO 14001 de 2015, sobre Sistemas de Gestão Ambiental, Aspecto Ambiental é “o elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente” (ABNT, 2015, p. 2). Já impacto ambiental, de acordo com a Resolução CONAMA Nº. 001/1986, é:

Qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades sociais e econômicas, a biota, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986).

A identificação dos aspectos e impactos ambientais foi realizada mediante a percepção dos pesquisadores, durante o decorrer da coleta de dados, tabulação e análise desses. Algumas situações foram observadas durante as conversas com os representantes das empresas, em especial no que diz respeito as mudanças que ocorreram em relação aos materiais, energia e água em decorrência da aplicação dos conceitos de sinergias e economia circular.

As observações foram analisadas, estabelecendo relações com os processos produtivos e as trocas, no intuito de entender suas causas e efeitos.

Algumas metodologias de avaliação ambiental estão consolidadas há décadas para realização de estudos de impacto ambiental, como *checklists*, Matrizes de Interação, Redes de Interação e Superposição de Cartas (MMA, 1995). As principais observações deste capítulo foram organizadas em uma matriz de aspectos e impactos.

As matrizes são consideradas modificações das listas de verificação, tendo em adição à lista vertical de impactos uma lista horizontal de ações ou aspectos que podem causar estes fatores, sendo passíveis de certo nível de subjetividades (EMBRAPA, 2005).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DIAGNÓSTICO DAS EMPRESAS

As unidades fabris visitadas foram classificadas em ramos de atuação identificados pelas mesmas. Durante as entrevistas, algumas empresas responderam realizarem mais de uma atividade, que estão identificadas conforme apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Atividades identificadas pelas empresas.

Ramo de atividade	Nº de empresas
Serraria	10
Artefatos de madeira	7
Operações Florestais	5
Celulose e papel	4
Produção de energia	4
Venda de madeira	4
Painéis	3
Reciclagem	2
Moveleira	1
Estruturais	1
Beneficiamento de madeira	1
Pré-cortados móveis	1
Total Geral	43

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

De acordo com Simioni (2007), o segmento da indústria pode ser classificado em indústria de transformação primária, onde ocorrem as operações de desdobro pelas serrarias e laminadoras; transformação secundária, da qual fazem parte as indústrias que realizam operações de beneficiamento e transformação terciária em que estão as indústrias que produzem os produtos finais.

De acordo com essa segmentação e considerando a principal atividade desenvolvida pelas indústrias e seu principal produto ofertado, para fins de desenvolvimento deste trabalho, as indústrias foram classificadas de acordo com os seguintes ramos: Produção primária (PP), Produção primária e/ou secundária (PPS), Produção primária, secundária e terciária (PPST), Celulose e Papel (CP), Produção de Energia (PE), Painéis (Pa) e Reciclagem (Re).

Considerando o ramo de atuação definido para as unidades fabris, a Tabela 5 apresenta a quantidade de unidades fabris por ramo, o porte das unidades fabris de cada ramo, a área média edificada e também o tempo médio de atuação das unidades fabris desse ramo.

Tabela 5- Diagnóstico do ramo de atividade, porte e tempo de atuação das empresas.

Ramo de atividade	Número de empresas	Porte	Área edificada μ (m ²)	Tempo de atuação μ (anos)
Processamento Primário	4	Microempresa (2) Pequena (1) Média (1)	12.250,00	19
Processamento primário e/ou secundário	5	Microempresa (1) Pequena (1) Média (3)	26.500,00	21
Processamento primário/secundário e terciário	3	Média (1) Grande (2)	20.436,39	31
Celulose e Papel	4	Média (1) Grande (3)	39.175,50	34
Painéis	3	Microempresa (1) Média (2)	7.180,00	14
Reciclagem	2	Pequena (1) Microempresa (1)	5.100,00	20
Produção de energia	2	Pequena (2)	4.355,39	11
Total de empresas	23	-	-	-

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

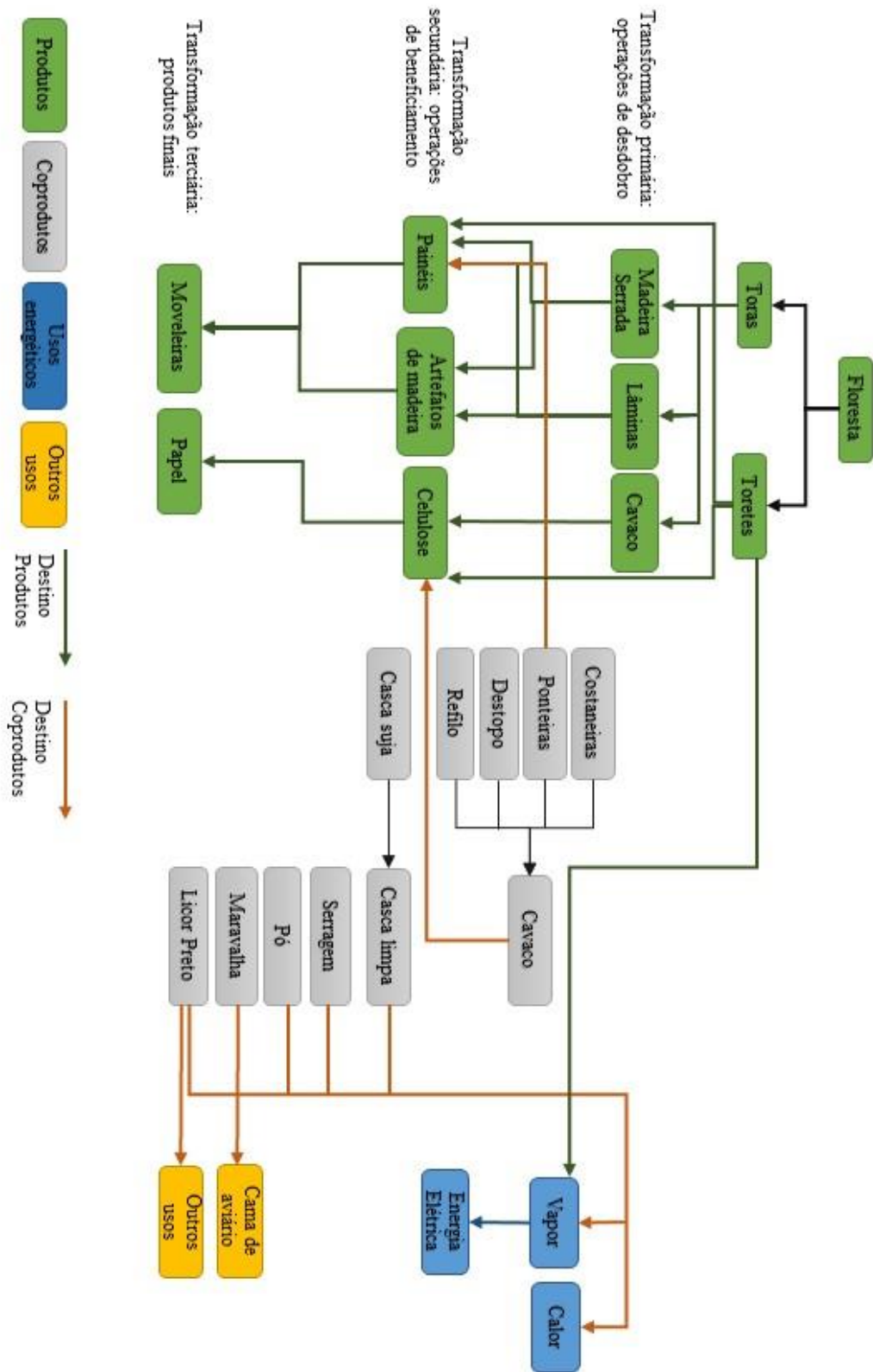
Em observação a tabela, verifica-se que os ramos com mais anos de atuação são Celulose e Papel e Processamento primário/secundário e terciário. Verifica-se que esses ramos apresentam empresas de Médio e Grande porte, caracterizando como estas empresas se consolidaram no mercado durante esses anos de atuação, além de suas importâncias na geração de empregos e no movimento econômico.

4.2 QUANTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS FLUXOS

Este capítulo é dedicado para a apresentação dos fluxos de matérias-primas, produtos, água e energia, de maneira quantitativa e qualitativa, apresentando justificativas quanto ao potencial de utilização dos materiais e a análise de como as variáveis se comportam e suas relações e como contribuem para o fechamento do ciclo. Como a circularidade influencia na diminuição dos impactos ambientais está descrito na seção 4.3.

A fim de melhor compreender as relações de circularidade de materiais aqui apresentadas, foi desenvolvido um fluxograma apresentando (Figura 5) o aproveitamento das matérias-primas florestais, produtos e coprodutos do processo. Neste fluxograma não foram consideradas os sete ramos de atuação identificados, mas sim a classificação tradicional para as operações conforme transformações primárias, secundárias e terciárias, independente do porte da unidade fabril e sua expressividade no setor.

Figura 5- Representação esquemática do fluxo dos principais produtos e coprodutos para seu aproveitamento no complexo produtivo da região de Lages de SC.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.2.1 Materiais

A sessão de materiais foi respondida por 23 empresas. Foram identificadas como principais matérias-primas de origem florestal utilizadas pelas empresas: tora de *Pinus*, tora de *Eucalyptus*, ponteira de *Pinus*, papel reciclado, madeira serrada, resíduo de serraria, cavaco, serragem, chapas, papel kraft, papel impregnado, celulose virgem, tubete de papelão, casca, maravalha e torete de *Pinus*. As matérias primas de base não florestal incluem como insumos: cal virgem, soda cáustica, sulfato de sódio, tinta, gesso, cola, resina fenólica, resina ureia formaldeído, farinha de trigo, emulação de parafina, além dos materiais fios de algodão, clichês metálicos e filmes plásticos.

Conforme as classificações de EMF (2015a) e Brosowski et al (2016) e de acordo com o funcionamento do segmento industrial observado na região de Lages e esquematizado na Figura 5, a classificação das matérias-primas respondidas pelas empresas consta na Tabela 6.

Tabela 6 - Classificação das matérias primas.

Classificação	Matérias-primas
Virgem	Tora, Torete, Ponteira de <i>Pinus</i> , Madeira Serrada, Cavaco*, Celulose virgem
Coproducto	Serragem, Casca, Cavaco, Maravalha
Reuso/Reciclagem	Papel Kraft, Papel Impregnado, Chapas, Tubete de papelão, Resíduo de papel

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Nota: *Cavaco virgem: desdobramento da tora para cavaco como objetivo principal.

O fornecimento de matérias-primas florestais ocorre em sua maior parte por meio da compra de materiais de outras empresas. Apenas no caso de matéria-prima virgem parte desse fornecimento é oriundo de matéria da própria empresa, ou seja, das florestas plantadas pertencentes a empresa. Nesse caso, estão inclusas a madeira serrada na própria firma e as toras de *Pinus* e *Eucalyptus* oriundas das florestas, ocorrendo o deslocamento da matéria entre o local de colheita e o pátio da fábrica para seu processamento.

As empresas que relataram possuir florestas próprias, informaram também comprar matéria-prima de outras propriedades, devido ao tempo de crescimento das árvores.

No caso das matérias primas não florestais, todo material é comprado. Quanto aos materiais de reuso ou reciclados, apenas no caso de resíduos de produção o fornecimento é interno, sendo os demais adquiridos de outras empresas. O fornecimento das matérias-primas percorre as médias de distâncias apresentadas na Tabela 7.

Tabela 7 - Raio de fornecimento das matérias primas.

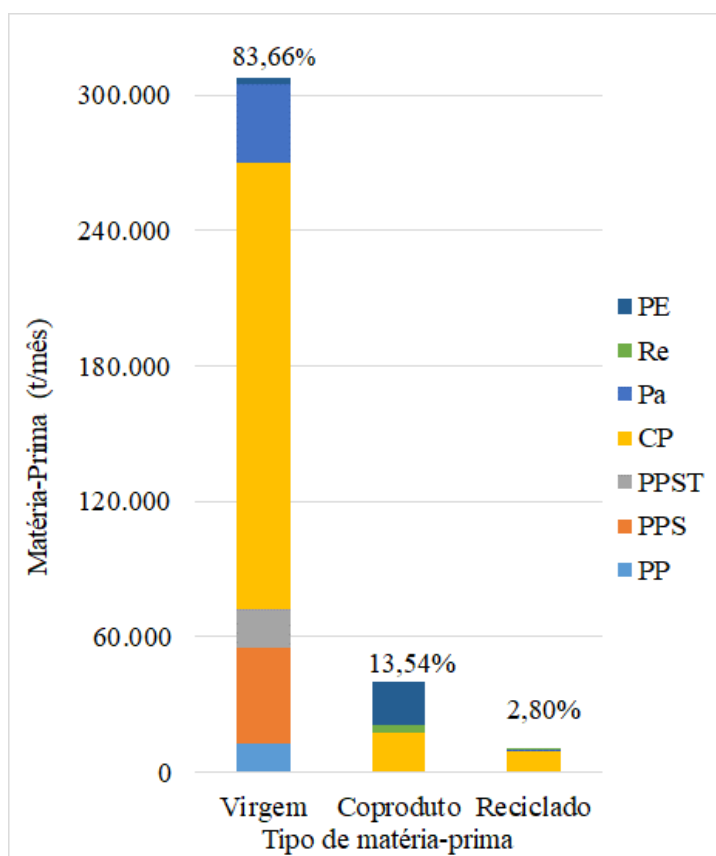
Matéria-prima		Raio de fornecimento médio (km)
Todas as matérias-primas		229,52
Matérias-primas florestais	Matéria-prima virgem	130,85
	Matéria-prima coproduto	53,75
	Matéria-prima reciclada	167,50
Matéria-prima não florestal		535,73

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

A quantidade total de matéria-prima consumida pelas empresas entrevistadas corresponde a 370.557,96 t/mês, sendo que dessas 2.351,09 t/mês são materiais não florestais.

As quantidades de matérias primas florestais consumidas em toneladas por mês, conforme sua classificação por tipo de matéria e a contribuição de cada setor no consumo destas está apresentada na Figura 6. Desse total florestal, 83,66% é composto por matérias primas classificadas como virgens, 13,54% como coprodutos e apenas 2,80% de material reciclado.

Figura 6 - Consumo de matérias primas florestais (t/mês) por ramo das empresas.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

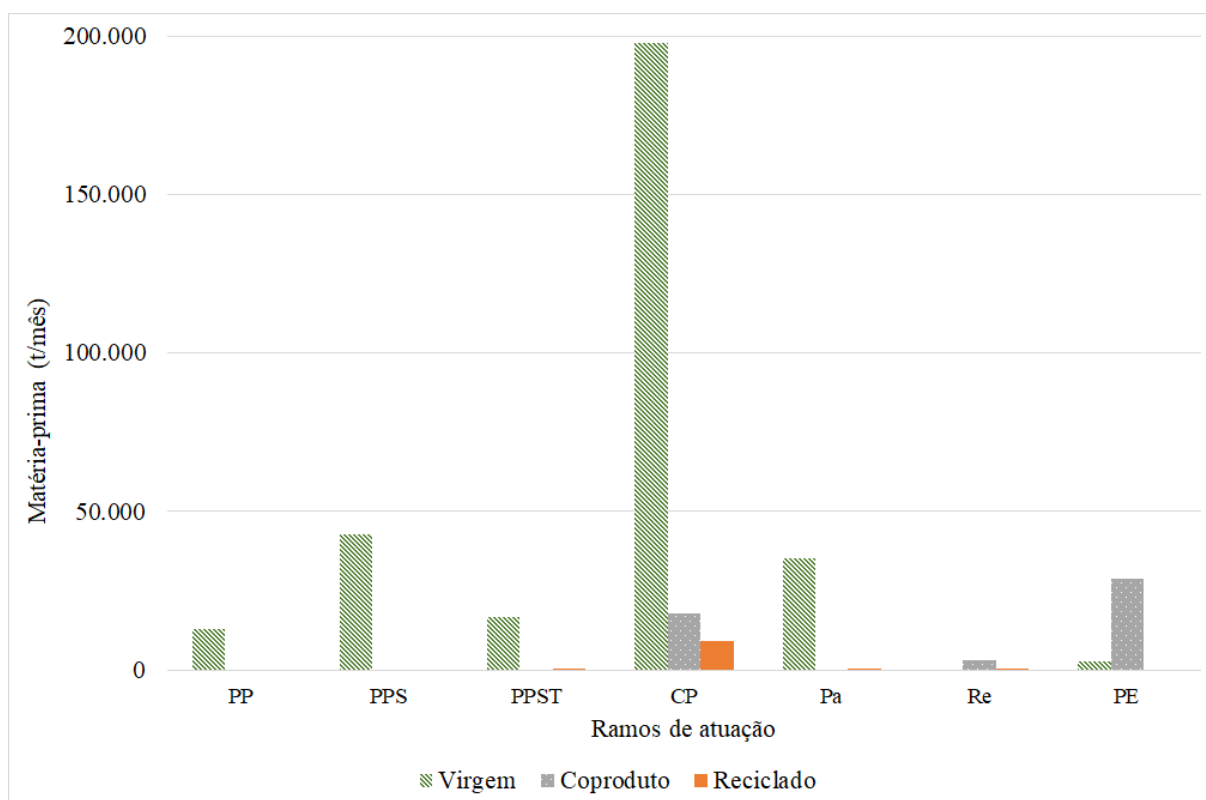
A Figura 7 apresenta o tipo (virgem, coproduto, reciclado) e a quantidade de matéria-prima consumida por mês, em relação ao total de matéria-prima florestal, conforme os ramos de atuação das empresas.

Com exceção do setor de reciclagem, todos os outros setores trabalham com material virgem, mesmo o setor de produção de energia, ainda que nesse caso, em menor proporção em relação a utilização de coprodutos.

Quanto ao coproduto como matéria-prima, este é utilizado pelos setores de celulose e papel, reciclagem e energia. Já quanto ao material reciclado, esta figura em todos os ramos de atuação, mas de maneira não expressiva. Apesar de os coprodutos e materiais reciclados terem sido mencionados por diversos setores, em relação a quantidade total de empresas, apenas 16% faz uso de coprodutos e também apenas 22% das empresas que responderam o questionário fazem uso de reciclados.

Uma das grandes empresas, que trabalha no setor terciário, relatou ter diminuído sua quantidade de matéria-prima necessária ao reestruturar a gramatura do papel.

Figura 7 - Tipo e quantidade de matéria-prima consumida (t/mês) por ramo de atuação.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.2.2 Produtos

Os principais produtos identificados pelas empresas, conforme seus principais ramos de atuação e o mercado de destino, estão compilados na Tabela 8.

Tabela 8- Produtos relatados pelas empresas.

Ramo de atuação	Produtos	Mercado
Processamento Primário	Madeira Serrada, Tábuas	Interno e Externo
Processamento Primário e/ou Secundário	Madeira Serrada, Molduras, Pallets, Cerca, Balaustre, Painéis, Cerca Gótica, <i>Bords</i> , Pré-cortados	Interno e Externo
Processamento Primário, Secundário e Terciário	Móveis, Cerca, Molduras, Pallets, Portas	Interno e Externo
Celulose e Papel	Papel, Sacos de Papel, Papel Kraft, Papel Higiênico, Jumbo Rolo	Interno e Externo
Painéis	Madeira Serrada, <i>Eucalyptus</i> Picado, Madeira Beneficiada Painéis, Compenso de Pinus e MDF	Interno e Externo
Reciclagem	Tubos de papel, casca, cavaco seco, serragem, adubo	Interno
Produção de energia	Energia térmica, energia elétrica	Interno

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Das unidades fabris entrevistadas, 50% atuam tanto no mercado nacional quanto no mercado de exportação, 39% atuam apenas no mercado interno e 9% apenas no mercado externo. Durante as entrevistas, os Estados Unidos da América foram mencionados como grande importador dos produtos da região.

O material mais utilizado como embalagem (mencionado por 65% das unidades) foi a fita plástica ou fitilho, para amarração dos produtos durante seu transporte. Outro material plástico utilizado, identificado por 9% das unidades, é o filme *stretch*. Entre os dois materiais há um consumo de 534,63 t/mês. Outros materiais mencionados para embalagem e transporte dos produtos foram caixa de papelão, cantoneiras, fitas de aço, pallets, capa para proteção dos produtos e calços. No caso de duas empresas, o produto viaja a granel, não havendo necessidade de material de embalagem. Os produtos são transportados por via rodoviária e no caso de produtos exportados, são transportados em containers por via marítima.

Uma informação importante é o rendimento na transformação de matérias-primas em produtos pelos diferentes ramos de atuação, de maneira a demonstrar a capacidade de aproveitamento do material que entra no processo produtivo. Para tanto, foi realizado o cálculo

de diferença entre as matérias-primas florestais utilizadas no processo produtivo e os resíduos florestais gerados pelas unidades fabris, conforme seus ramos de atuação (Tabela 9).

Tabela 9 – Rendimento de transformação de matéria-prima florestal em produto.

Ramo de atuação	Transformação Produto (%)
Processamento Primário	61,16
Processamento Primário e/ou Secundário	63,47
Processamento Primário, Secundário e Terciário	46,29
Celulose e Papel	90,42
Painéis	81,07
Reciclagem	97,13
Produção de energia	97,24
Todos ramos	83,58

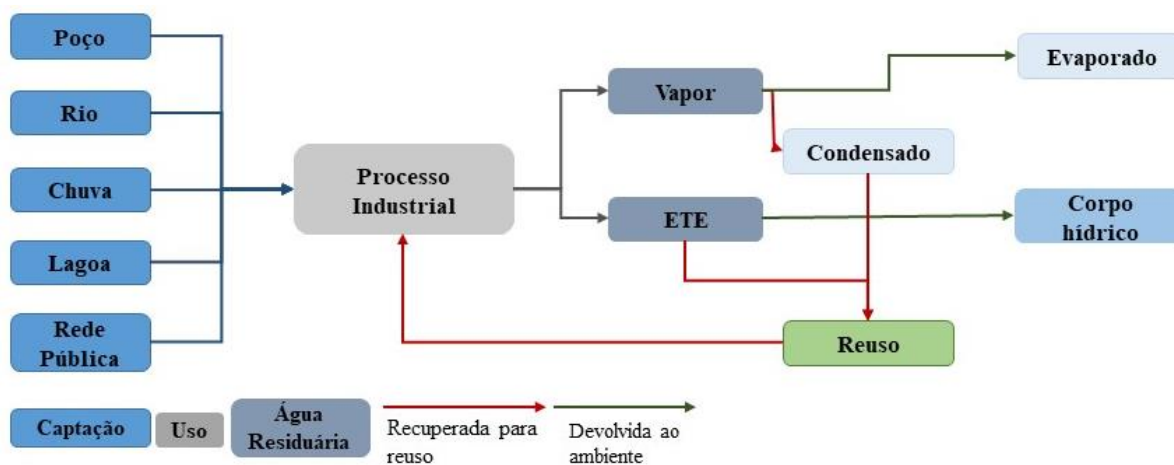
Fonte: Elaborado pela autora (2018).

4.2.3 Água

Os municípios visitados para aplicação de questionário estão localizados na Bacia Hidrográfica do Rio Canoas e as empresas realizam a captação de água do Rio Caveiras e Canoas. O Rio Caveiras possui em seus pontos mais degradados características de rios classe II (RAFAELI NETO; BECEGATO; CABRAL, 2013). O Rio Canoas, segundo dados do Comitê do Rio Canoas (2018) apresenta uma vazão de 260 m³/s, tendo sido analisado de maneira geral como rio classe II (LOPES, 2017), cujas características são definidas pela Resolução CONAMA 357/2005 (BRASIL, 2005).

A quantidade de água necessária para as empresas da indústria de base florestal varia de acordo com o setor de atuação e o porte das mesmas. O uso da água pelo setor de base florestal foi sumarizado em fluxograma para facilitar a visualização (Figura 8).

Figura 8 – Esquema de consumo de água pelo setor.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Três empresas responderam não usar água em nenhum momento durante seu processo, de maneira que os resultados apresentados abaixo correspondem as demais 21 empresas. As diferentes origens da água utilizada pelas empresas em seus processos estão compiladas na Tabela 10. Das empresas que utilizam água no processo, 57% possuem apenas uma fonte de captação de água, enquanto as demais possuem fontes complementares.

Tabela 10 - Fontes de captação de água.

Fonte	Nº empresas	Única Fonte*
Rio	6	5
Lagoa	3	1
Poço	9	4
Água da chuva	2	1
Rede Pública	6	2
Empresa parceira	1	1

*Número de empresas que utilizam apenas essa fonte de captação.

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

O reuso da água é efetuado por 52% das empresas, e 14% indicaram posterior despejo em recurso hídrico, sendo que nas demais, o excedente da água que não é absorvido no processo de produção é perdido por evaporação, não havendo a geração de efluentes.

Os percentuais do destino dado pelas unidades fabris para a água residual foram apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Destino da água residuária.

Destino água residuária	% empresas
Reuso na empresa de água bruta	42%
Reuso na empresa de água tratada	9%
Reuso pela empresa parceira	5%
Despejo em corpo hídrico após tratamento	42%

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

O reuso foi uma prática identificada nos ramos de processamento primário, processamento primário e/ou secundário e processamento primário, secundário e terciário, painéis e celulose e papel. As empresas responderam fazer o reuso da água nas seguintes situações: recirculação da água do banho da madeira, sem tratamento, cujo principal motivo fornecido seria evitar o desperdício do produto misturado com a água para o beneficiamento da madeira; recirculação do vapor condensado nas caldeiras; recirculação do vapor gerado nas torres de resfriamento; e recirculação de água tratada nas estações de tratamento.

A indústria de celulose e papel é uma alta consumidora de água (SRIDHAR et al. 2011), mas o cenário tem mostrado avanços no sentido da ecoeficiência na produção, diminuindo a exploração do recurso hídrico.

O consumo de água pela indústria de celulose e papel teve uma redução drástica nos últimos 30 anos, de aproximadamente 250 m³ de água por tonelada de produto para aproximadamente de 35 m³ a 50 m³/t de produto em 2013 (ICFPA, 2015).

Algumas atitudes foram relatadas no sentido de diminuir a geração de água residuária e de gerar efluentes menos tóxicos, como a substituição de lavagem por peneiramento no setor de reciclagem, eliminando a utilização de água e também a alteração de insumos químicos para orgânicos no tratamento de seus efluentes de empresas de grande porte.

4.2.4 Resíduos

Os principais resíduos produzidos foram identificados por todas as empresas. Os resíduos não florestais identificados foram: pedras, areia em pedras, fitas a base de plástico, plástico, lixo industrial (tinta e cola, tonéis de tinta e de produtos químicos, graxa, luvas, lubrificante, sucata metálica, resíduos da construção civil, panos laváveis, estopo), orgânico (sobras dos restaurantes) e lodo de ETA e de ETE.

Quanto ao lodo de ETE, este é utilizado na mistura de combustível, junto com os resíduos florestais, para geração de energia nas caldeiras. Conforme encontrado por SILVA et

al (2018) para esta unidade fabril, a mistura utilizada juntamente com o aditivo se mostra eficiente na produção de energia, alcançando uma proporção de 4,22 toneladas de vapor gerado por tonelada de mistura de combustível utilizada.

Na Tabela 12 estão apresentadas as respostas relacionadas aos tipos de coprodutos e resíduos de base florestal, conforme ramo de atuação das empresas.

Tabela 12 - Coprodutos/resíduos gerados conforme ramo de atuação das empresas.

Ramo de atuação	Coproducto/Resíduo
Processamento Primário	Cavaco, Maravalha, Cascas, Serragem, e Cinzas das caldeiras
Processamento Primário e/ou Secundário	Destopo, Maravalha, Serragem, Cavaco, Casca, Cinzas das caldeiras.
Processamento Primário, Secundário e Terciário	Cavaco, Maravalha, Casca, Serragem, Pó, Cinzas da Caldeira
Celulose e papel	Papel/papelão; Refugo da produção; Pó; Cinzas da caldeira; Serragem; Casca; Licor Negro
Painéis	Cavaco; Serragem; Rolete de Pinus; Pó; Fibra; Casca; Cinzas das caldeiras;
Reciclagem	Papel/papelão; particulados;
Produção de energia	Papel/papelão; Cinzas da caldeira;

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Especial atenção deve ser dada ao licor negro, que é tratado e retorna ao processo como licor branco. Este não está computado nos dados quantitativos apresentados abaixo, uma vez que a quantidade gerada e o quanto é recuperado são dados que não foram obtidos.

O destino dos resíduos foi previamente dividido em aproveitamento interno e externo. O aproveitamento interno considera o uso dentro da mesma empresa, seja no pátio da unidade fabril, ou outra unidade fabril da mesma empresa, no caso de empresas que possuem mais de uma fábrica na região, assim como nas fazendas florestais das próprias empresas na região.

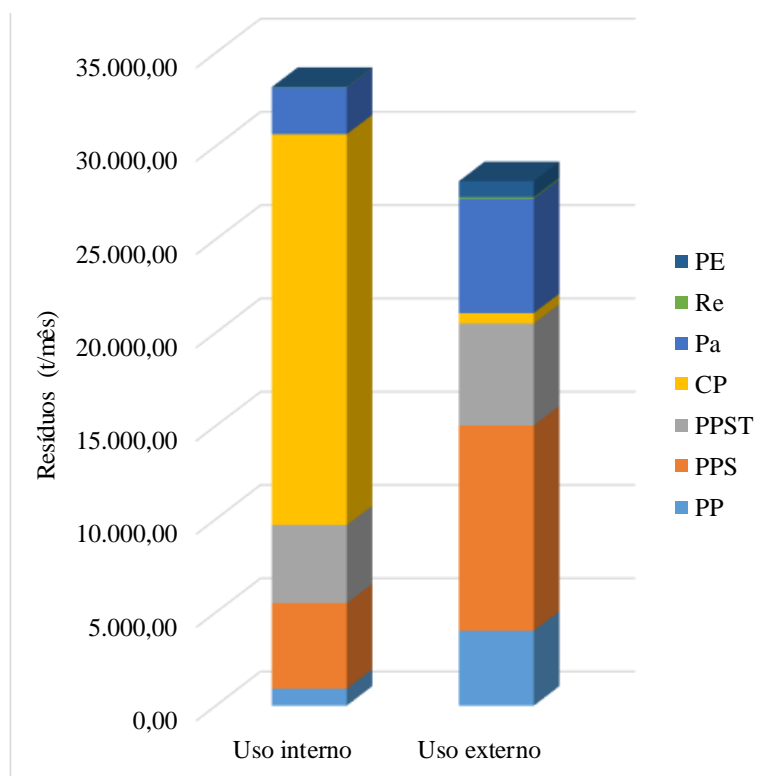
Como aproveitamento externo, foi considerado a destinação dos resíduos para outras empresas, seja na unidade fabril, em suas fazendas de agricultura, silvicultura ou outros usos que essas empresas venham a dar para esse resíduo em seu processo. Em relação aos resíduos florestais, obteve-se o quanto cada ramo de atuação tem como aproveitamento interno ou externo em relação ao total produzido por aquele ramo (Tabela 13) e a quantidade de resíduo de aproveitamento interno e externo em quantidades totais, com representação do quanto é produzido por cada setor (Figura 9).

Tabela 13 - Aproveitamento interno e externo em cada ramo de atuação (%).

Ramo	Aproveitamento	
	Interno	Externo
Processamento Primário	18,5%	81,5%
Processamento Primário e/ou Secundário	29,4%	70,6%
Processamento Primário, Secundário e Terciário	41,0%	59,0%
Celulose e Papel	97,4%	2,6%
Painéis	29,0%	71,0%
Reciclagem	23,6%	76,4%
Produção de Energia	0,0%	100,0%

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 9 – Aproveitamento interno e externo dos resíduos (t/mês).



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Apesar de o aproveitamento externo não estar levando em consideração de maneira diferenciada o que fica na região de Lages e o que sai da região, ou seja, ambos os casos foram contabilizados. Wahrlich (2018) observou que a maior parte dos resíduos florestais gerados estão sendo utilizados dentro do ecossistema industrial da região de Lages, com apenas uma pequena porção (5,17%) sendo vendida para fora do parque industrial.

Como formas de aproveitamento interno, foram identificados o reuso no processo de produção, seu aproveitamento como compostagem, correção de pH do solo e adubação, estando caracterizadas nesse caso como ciclagem de nutrientes, além do aproveitamento dos resíduos como coprodutos para utilização na produção de energia das fábricas.

Para o aproveitamento externo, quando da ciclagem de nutrientes, considerou-se, independente do ramo da empresa que recebe o material, se este era aproveitado pelo receptor para correção do solo ou adubação. Da mesma maneira, para recuperação energética, independente do ramo da empresa, foi considerado nessa divisão quando os resíduos são aproveitados pelas receptoras como biocombustível.

Considerou-se ainda a destinação para aterro, que considera uma pequena fração dos resíduos, sendo que a maior parte é vendida para outras empresas do setor florestal da região de Lages para aproveitamento como matéria-prima em seus processos. O aproveitamento total dos resíduos pelo setor está apresentado na Tabela 14, sendo os percentuais das finalidades relativos ao aproveitamento total interno e externo de maneira separada.

Em análise a Tabela 14 é importante ressaltar que os resultados se referem apenas aos resíduos florestais. Caso fossem considerados todos os resíduos identificados, o valor final de destinação para aterro seria sensivelmente superior a este apresentado, uma vez que incluiria resíduos industriais com características que demandam seu envio para aterro industrial.

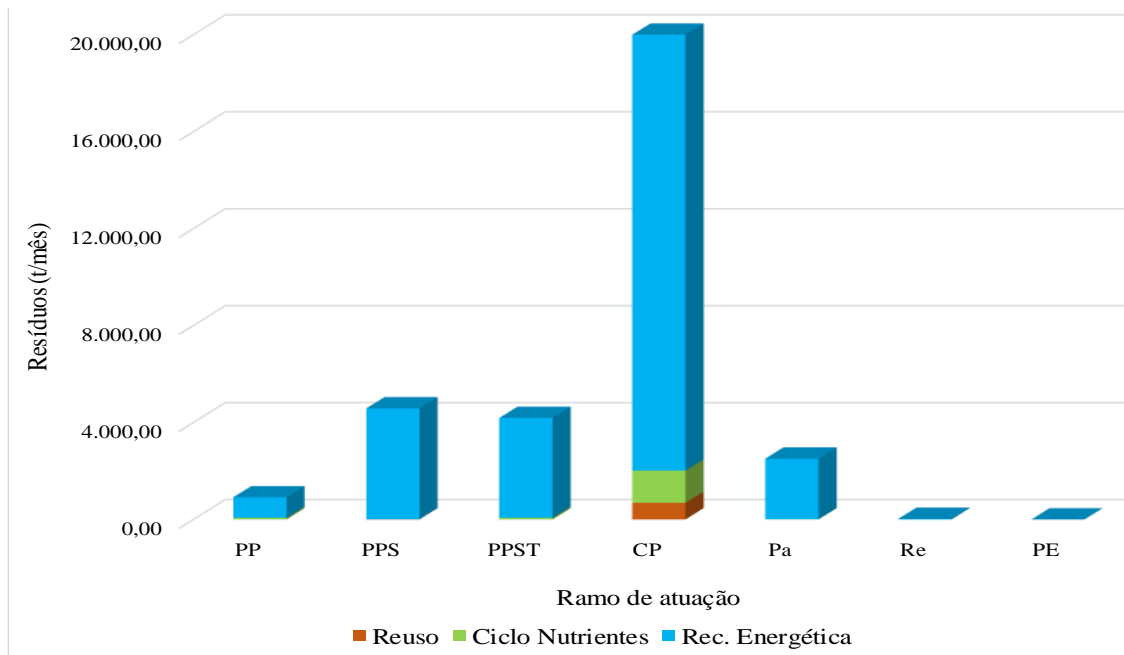
Tabela 14 - Destino dos resíduos florestais, para aproveitamento interno e externo, t/mês e %.

Destino	Finalidade	Quantidade (t/mês)	Quantidade (%)
Aproveitamento interno	Reuso	694,50	2,12%
	Ciclagem de nutrientes	1.482,11	4,52%
	Recuperação energética	30.591,25	93,36%
	Total	32.767,85	100,00%
Aproveitamento externo	Reuso	1.425,17	5,07%
	Ciclagem de nutrientes	1.661,58	5,91%
	Recuperação energética	25.013,13	88,94%
	Aterro	22,84	0,08%
	Total	28.122,77	100,00%

Fonte: elaborado pela autora.

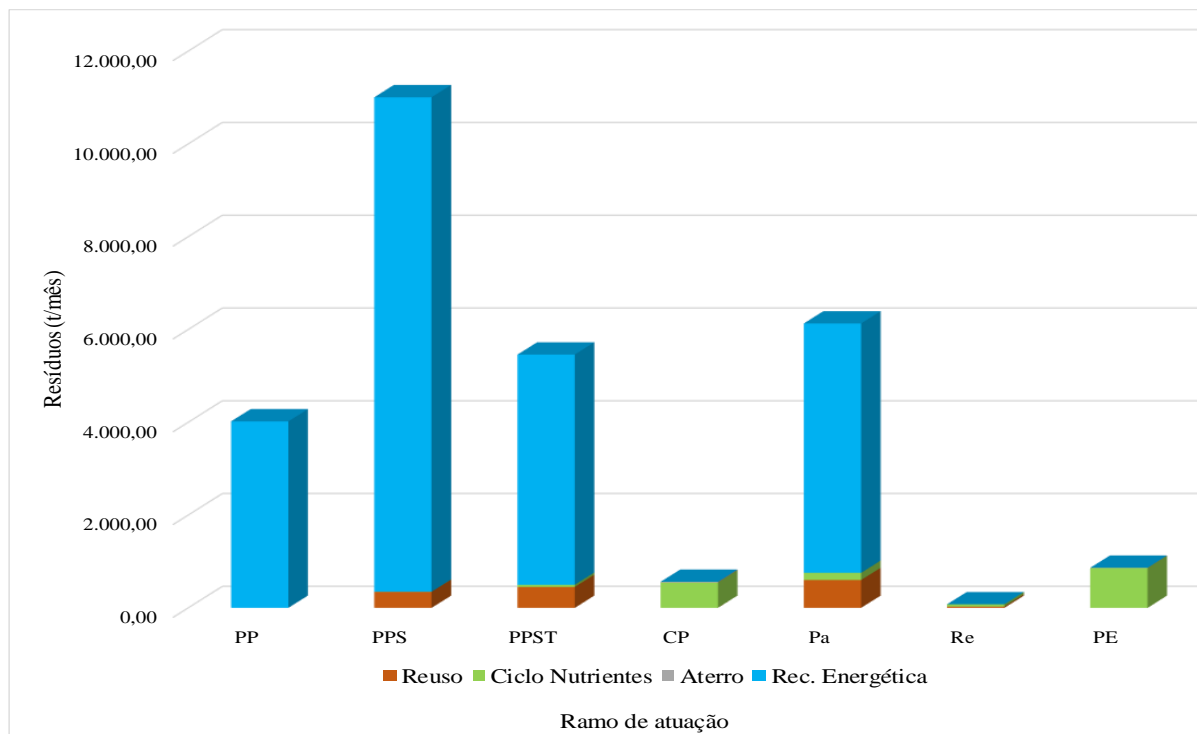
Com relação à finalidade de aproveitamento dos resíduos conforme o ramo de atuação das empresas, na Figura 10 são apresentados àqueles que são aproveitados internamente e na Figura 11 àqueles que possuem aproveitamento externo ao parque industrial.

Figura 10 – Finalidade de aproveitamento interno dos resíduos florestais (t/mês) conforme ramo de atuação das empresas.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Figura 11- Finalidade de aproveitamento externo dos resíduos florestais (t/mês) conforme ramo de atuação das empresas.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

O maior aproveitamento dos resíduos nas próprias empresas demonstra a capacidade destas em aproveitar de maneira expressiva os materiais que entram em seu processo. Nesse sentido, estão alinhadas com o que a economia circular chama de ‘o poder dos círculos menores’, os quais preservam melhor a integridade e complexidade do produto, além da mão de obra e energia investida (EMF, 2015b).

Conforme observa-se na Tabela 13 e na Figura 10 o ramo de celulose e papel é o que mais consegue fazer aproveitamento interno dos resíduos florestais, em parte devido a elevada demanda que possuem desse material para queima como biocombustível. Os ramos de processamento primário e secundário, com atividades como serraria, painéis, moveleira e beneficiamento, precisam de tábuas inteiras para poderem trabalhar, de maneira que os resíduos produzidos como cavaco, maravalha e destopo não possuem utilidade se retornados ao processo para reuso. Além disso, como sua demanda energética não é tão elevada, parte dos resíduos gerados precisa ser vendida.

Quanto a destinação dos resíduos para fora do parque industrial, o estudo de Wahrlich (2018) pôde constatar que uma maior concentração de resíduos é destinada para as empresas de grande porte que trabalham nas etapas de transformação terciária e geração de energia. Nesse sentido, foi relatado pelas empresas que quando uma dessas grandes companhias interrompe suas atividades, há sobrecarga de envio de resíduos para outras empresas.

Ainda afeto a isto, algumas pequenas empresas relataram, durante as entrevistas, dificuldade em encaminhar seus resíduos, o que demonstra que as grandes empresas podem ter atingido sua capacidade máxima de aproveitamento de coprodutos, demonstrando assim que a região está evoluindo para um nível maduro de circularidade e atingindo sua capacidade de empresas instaladas na região.

O aproveitamento dos resíduos, conforme sua finalidade (reuso, ciclagem de nutrientes ou recuperação energética), no contexto total, ou seja, desconsiderando se é para aproveitamento interno ou externo, pode ser visto na Tabela 15.

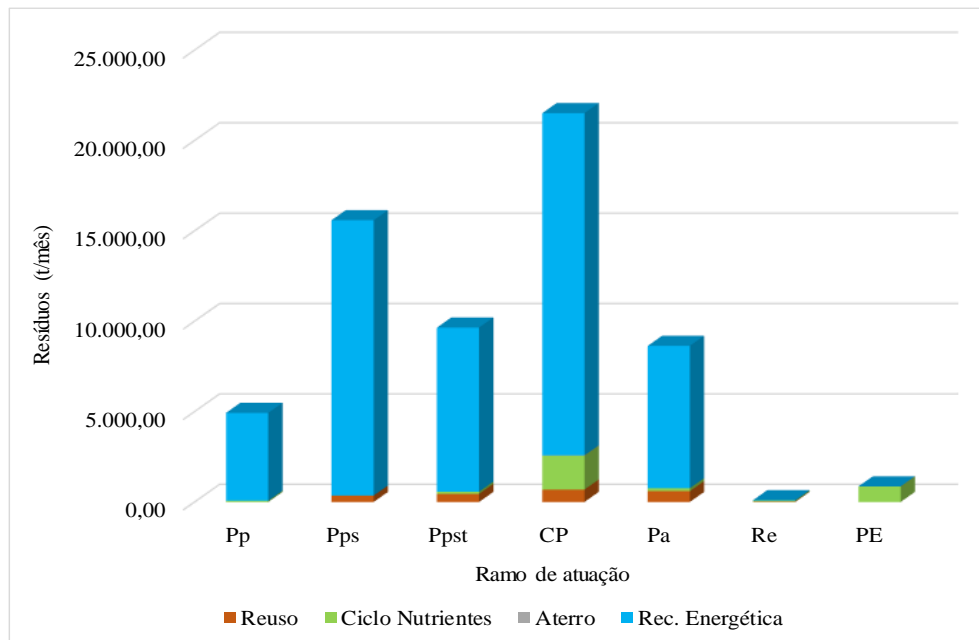
Tabela 15 - Quantidade de resíduos (t/mês e %) conforme sua finalidade de aproveitamento.

Finalidade	Quantidade (t/mês)	Quantidade (%)
Reuso	2.119,66	3,48
Ciclo de nutrientes	3.143,69	5,16
Recuperação energética	55.604,37	91,32
Aterro	22,84	0,04
Total	60.890,56	100,00

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

O aproveitamento dos resíduos, conforme sua finalidade e conforme o ramo de atuação das empresas, desconsiderando se é aproveitamento interno ou externo, pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 12 – Aproveitamento dos resíduos (t/mês), conforme ramo das empresas e finalidade de utilização.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Conforme pode ser observado na Figura 10, Figura 11 e Figura 12, a principal finalidade dos resíduos é a recuperação energética. Somando o aproveitamento interno para esta finalidade, como o destinado para as empresas de produção de energia, e o destinado para empresas de outros ramos, mas que utilizam o material em suas caldeiras como combustível para obtenção de calor e vapor em seus processos, observa-se um total expressivo de 91,73% dos resíduos enviados para aproveitamento externo com finalidade energética.

Inclusive, caldeiras novas com maior eficiência foi um fator relatado por 17% das empresas como um dos motivos que possibilita maior aproveitamento dos resíduos de forma interna. Isso pois, quando queimado, a energia química da biomassa é liberada como calor, sendo utilizada para produzir vapor. Em seguida, esta energia pode ser usada como forma de aquecimento ou em uma turbina para geração de eletricidade (AKOREDE; POURESMAEIL, 2010).

Deboni (2017) estudou a qualidade dos resíduos florestais da região de Lages de Santa Catarina para uso como combustível. O estudo mostrou que quanto menor o TU e o TC dessas matérias, maior sua capacidade como combustível para geração de energia nas caldeiras. Nos resultados, destaca-se a qualidade do cavaco como combustível. Este possui TU médio de 55,27% e o TC situa-se em 1,67%, revelando-se bastante inferior quando comparado a outros materiais. A serragem possui um TU médio de 59,38% e TC é o mais baixo quando comparado com os outros tipos de materiais, alcançando uma média de 1,03%. Já a casca possui um TU médio de 53,89% e um TC de 19,21%.

Ainda segundo a autora, a utilização do cavaco para fins energéticos é mais expressiva, pois devido ao seu acondicionamento em silos, o material está menos propenso a contaminações. Quanto a casca, a contaminação do material por cinzas é um fator determinante na potencialidade de aproveitamento deste material como combustível, sendo indicado a redução do seu TC para aproveitamento para geração de energia (FURTADO et al., 2012).

A preparação desse material está sendo feita, atualmente, no ramo de reciclagem. A casca suja recebida é submetida a um separador de disco, material separado em grosso (cavaco) e fino. O primeiro é encaminhado para um picador e origina o cavaco e o segundo atravessa uma peneira rotativa, novamente separado em grosso e fino (composto orgânico), sendo este primeiro a casca limpa vendida para empresa produtora de energia (WAHRLICH et al., 2018). Dessa maneira, possibilita-se o maior aproveitamento energético das cascas nas caldeiras.

O ramo de produção de energia, além de ser responsável por uma pequena quantidade de produção de resíduos, em comparação aos outros ramos, é o que possui a maior possibilidade de aplicação direta de seu principal resíduo (cinzas das caldeiras) no solo, promovendo assim a ciclagem de nutrientes. As cinzas das caldeiras são utilizadas como corretor de pH no solo das florestas plantadas, e também para fertilização.

De acordo com Arruda et al. (2016), as cinzas possuem compostos orgânicos e inorgânicos que podem ter efeitos favoráveis para as plantas, além de possuir entre seus nutrientes, cálcio e magnésio, que podem ter ação alcalina ao material, ajudando na correção de pH do solo. Em análise química das cinzas geradas por empresa geradora de energia na região de Lages/SC, Henne (2018) obteve como resultado que as cinzas da biomassa utilizadas na caldeira possuem em suas composições a predominância de silício, ferro, cálcio e potássio.

Algumas empresas também efetuam a queima desse material, sobretudo a parte mais grossa que apresenta biomassa não totalmente queimada, objetivando seu reaproveitamento e diminuindo seu volume. É obtido o *clínquer*, devido a solidificação das cinzas em função da presença de metais, o que possibilita novos aproveitamentos do material, como sua utilização

como uma espécie de cimento ou asfalto no chão da fábrica. De fato, as cinzas de biocombustíveis de materiais sólidos têm propriedades que se assemelham ao cimento quando misturadas com água (SÁ, 2013).

Outras finalidades importantes a serem destacadas, enquadradas na finalidade de reuso pelas empresas, é o envio dos resíduos para as empresas de reciclagem, que produzem tubetes de papel, além de prepararem o resíduo para seu devido aproveitamento como combustível energético e adubo (WARHLICH et al., 2018) e o destino da maravalha para seu aproveitamento como cama de aviários, especialmente na região oeste do estado.

4.2.5 Energia

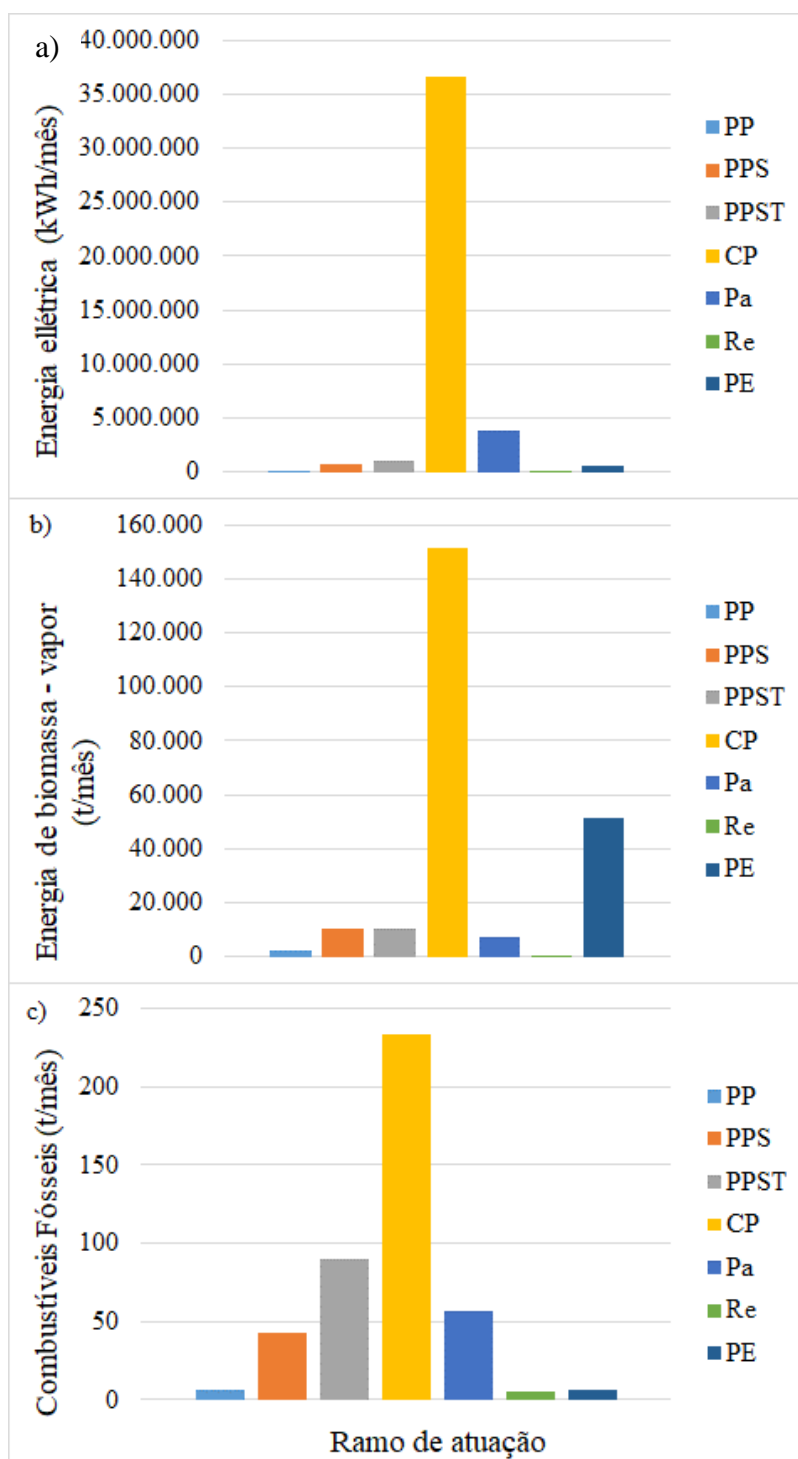
A energia consumida durante os processos configura uma importante variável de sustentabilidade. As empresas responderam sobre a quantidade de energia elétrica que utilizam em seus processos, a quantidade de energia térmica (necessária principalmente nos processos de secagem da madeira) e também a quantidade de combustíveis fósseis utilizados para o funcionamento de seus maquinários e transporte dentro da empresa (Figura 13).

A energia térmica a que se refere o gráfico é o vapor obtido pela queima de biomassa nas caldeiras. O combustível fóssil tem computado os óleos, graxas, diesel e gasolina necessários para o funcionamento do maquinário das empresas, assim como o gás quando utilizado para obter calor em estufas. O combustível utilizado para o transporte de seus produtos e coprodutos aos clientes e empresas parceiras não foi computado pelas empresas, visto que esse serviço é muitas vezes realizado por uma parceira.

Foram consideradas como energias não renováveis aquelas que não podem ser restauradas, reproduzidas, cultivadas ou criadas em curto período de tempo através de ciclos ecológicos, incluindo: combustível advindo de petróleo ou óleo cru, gás natural, carvão mineral e energia nuclear. Como energias renováveis, foram consideradas aquelas capazes de serem restauradas em um curto espaço de tempo por meio de ciclos ecológicos, incluindo: geotermal, vento, solar, hídrica e biomassa (GRI, 2015).

Dessa maneira, enquadra-se como não renovável os combustíveis fósseis e como renovável a biomassa. Quanto a energia elétrica, quase todas as empresas possuíam como fonte a energia da rede e, portanto, não tinham conhecimento da fonte utilizada na geração desta eletricidade.

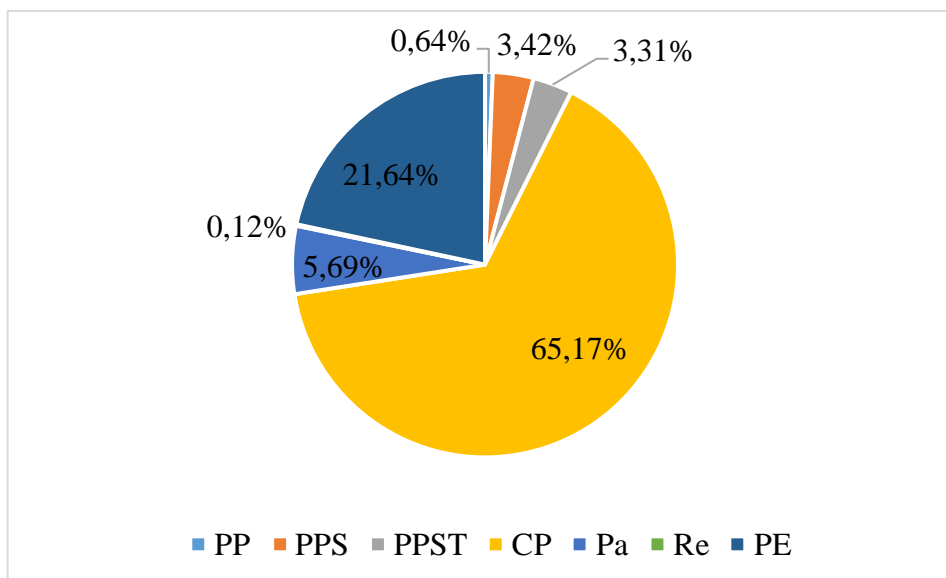
Figura 13 - Consumo de energia: a) energia elétrica (kWh/mês); b) vapor obtido da queima de biomassa como combustível; e, c) combustíveis fósseis (t/mês).



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Para fins de comparação, os valores de energia e combustível consumidos foram convertidos em Joules, de maneira que foi possível comparar o consumo total de energia entre os setores, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14- Participação dos ramos de atuação no consumo total de energia (%).



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Percebe-se pelos resultados da Figura 14 que o setor de celulose e papel apresenta um consumo de energia bastante superior ao dos outros setores, o que já era esperado, visto o porte das empresas pertencentes a estes setores e a atividade desenvolvida por estas.

A conversão da energia consumida para Joules também possibilitou observar qual o tipo de potencial energético mais aproveitado, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 - Consumo total dos tipos de energia em Joules.

	Consumo em Joules	Parcela de representação
Eletricidade	156.555.509,4 x 10 ⁶	14,460%
Energia de biomassa	926.123.178,68 x 10 ⁶	85,538%
Combustíveis fósseis	30.874,96 x 10 ⁶	0,003%
Total	1.082.709.563,04 x 10 ⁶	100,000%

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Conforme os resultados apresentados, pode-se observar que a principal forma de energia consumida é aquela oriunda da queima da biomassa, obtendo energia térmica, representando 85,54% da energia consumida. Essa alta representatividade pode ser explicada devido a necessidade de seu uso no processo de produção como forma de calor para secar madeira e aquecimento de água. Também há de se considerar que algumas empresas responderam depender mais dessa forma de energia para secagem da madeira durante o inverno, uma vez

que a região de Lages de Santa Catarina apresenta temperaturas bastante baixas durante esta estação.

Majoritariamente essa energia é obtida por meio da utilização de biomassa como combustível, sendo produzida pelas próprias empresas que possuem caldeiras em seus pátios ou alugam a de outras empresas.

Há ainda o caso de uma parceria entre empresa produtora de energia para compra de vapor, o que possibilitou que a parceira desativasse o uso da caldeira a óleo, sendo que a produtora de energia usa uma mistura de biomassa e lodo de ETE da parceira e aditivo para produzir energia.

De toda a energia na forma de calor advinda de biocombustíveis ou combustíveis fósseis, 8% relataram o uso de gás em estufas para obter calor. Considerando o total de energia térmica obtida, com origem na biomassa ou gás, o gás corresponde por menos de 1% desse total.

Ainda, há o caso das empresas dos setores de celulose e papel e produção de energia que usam a biomassa como combustível para gerar vapor e consomem esse vapor em turbinas para geração de energia elétrica.

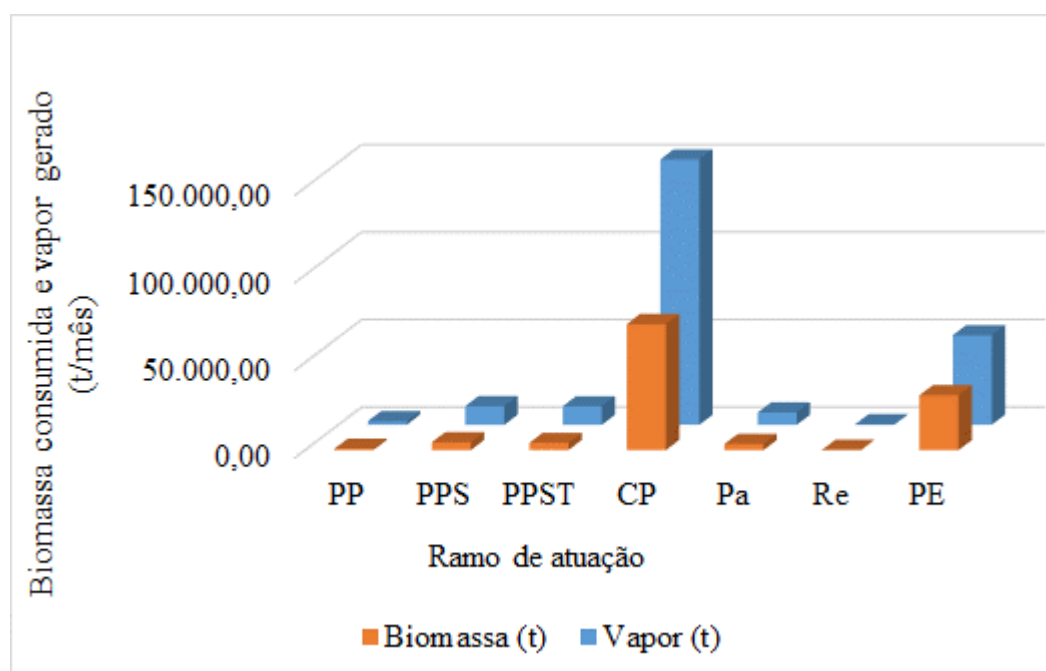
Em relação a quantidade de energia comprada ou consumida, foi observado que isso depende do tipo de energia. Quanto aos combustíveis fósseis, os mesmos são comprados de fornecedores regionais. A energia elétrica é majoritariamente comprada da concessionária de distribuição estadual, sendo que apenas 8% das empresas (dos ramos de celulose e papel e produção de energia) possuem geração própria de energia elétrica. No primeiro caso, há geração de energia elétrica advinda de uma pequena central hidrelétrica e também turbinas que aproveitam o vapor gerado pelas caldeiras para gerar eletricidade, que é consumida no próprio processo. Já no caso da empresa produtora de energia, o produto final da empresa é a energia elétrica, de maneira que a biomassa é utilizada como combustível para gerar vapor nas caldeiras, o qual é utilizado nas turbinas para obter energia elétrica. A energia produzida é utilizada no próprio processo produtivo da empresa e, a maior parte, é vendida para terceiros.

Também foi respondido pelas empresas sobre a existência de um contrato firmado com uma das empresas de produção de energia. Dessa maneira, garante-se a compra dos resíduos florestais de empresas da região, necessários como combustível para geração de energia térmica (e posteriormente elétrica) e garante-se a compra de parte da energia elétrica produzida por essas mesmas empresas que vendem seus resíduos. Configura-se um processo de simbiose industrial, ocorrendo a valorização dos resíduos como coprodutos dentro da própria região, e o retorno na forma de energia.

Tal raciocínio é corroborado por Warhlich (2018), que em seu estudo calculou o valor do Indicador de Simbiose Industrial para o setor de base florestal da região de Lages de Santa Catarina, obtendo como resposta um valor de 22,18. A autora explica que este permite entender que o fluxo interno de resíduos é muito maior que o externo.

Conforme discutido na sessão de resíduos, a biomassa utilizada para produção de energia é obtida na forma de coproduto durante a produção, configurando a circularidade dos processos. O total de biomassa consumida pelas empresas participantes no processo corresponde a 116.456,66 t/mês, e o total de vapor obtido a partir dessa biomassa corresponde a 233.008,67 t/mês. A quantidade de biomassa utilizada, em comparação a quantidade de energia térmica consumida, de acordo com o setor de atuação das empresas, pode ser observada na Figura 15.

Figura 15 – Quantidade de biomassa consumida e o vapor gerado por esse combustível.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

É importante ressaltar que esse gráfico apenas traz a comparação entre a biomassa consumida e a quantidade de vapor obtido pela queima dessa biomassa, não estando computado nessa energia térmica aquela oriunda da utilização de gás. Algumas empresas relataram a aquisição de caldeiras mais modernas, o que resulta na geração de energia mais eficiente, ou seja, maior transformação de combustível em energia e menores perdas durante esse processo.

No que diz respeito ao consumo total de energia, o setor de reciclagem relatou ter realizado mudanças no seu processo no sentido de interligar seu sistema produtivo de maneira a reduzir a necessidade de energia consumida pelos motores, sem prejuízo da escala de produção.

4.2.6 Relações de Circularidade

O mapa de relações de circularidade apresentado na Figura 16 foi desenvolvido buscando apresentar a origem das matérias-primas, o aproveitamento dos coprodutos pelas empresas, dentro do ecossistema industrial da região de Lages e fora deste, com ênfase no aproveitamento energético dos resíduos.

Na figura estão apresentados os ramos de atuação das empresas do setor florestal da região de Lages, representados junto ao círculo. O círculo, além de demonstrar a circularidade do sistema, iniciando pelos ramos de atuação primários e menos complexos, também representa a utilização de matéria-prima virgem florestal pelos ramos trabalhados. O ramo de reciclagem encontra-se justamente ao lado e não em cima do círculo por não fazer uso de matéria-prima florestal virgem.

Os demais tipos de empresas e ramos de atuação apresentados são receptores dos coprodutos/resíduos gerados pelo setor florestal da região de Lages, mas não fazem parte deste, ou por não serem empresas do setor florestal ou por não estarem geograficamente localizados na região de Lages.

As setas chegando aos ramos de atuação representam os materiais utilizados como matéria-prima nos processos desses ramos, sejam estes materiais virgens ou coprodutos/resíduos de outras empresas. As setas saindo representam os coprodutos/resíduos gerados por aquelas empresas. Logo, as setas fornecem uma ligação entre o ramo que gera determinados coprodutos, e qual o ramo de destino desse material para sua utilização como matéria-prima nestes processos produtivos.

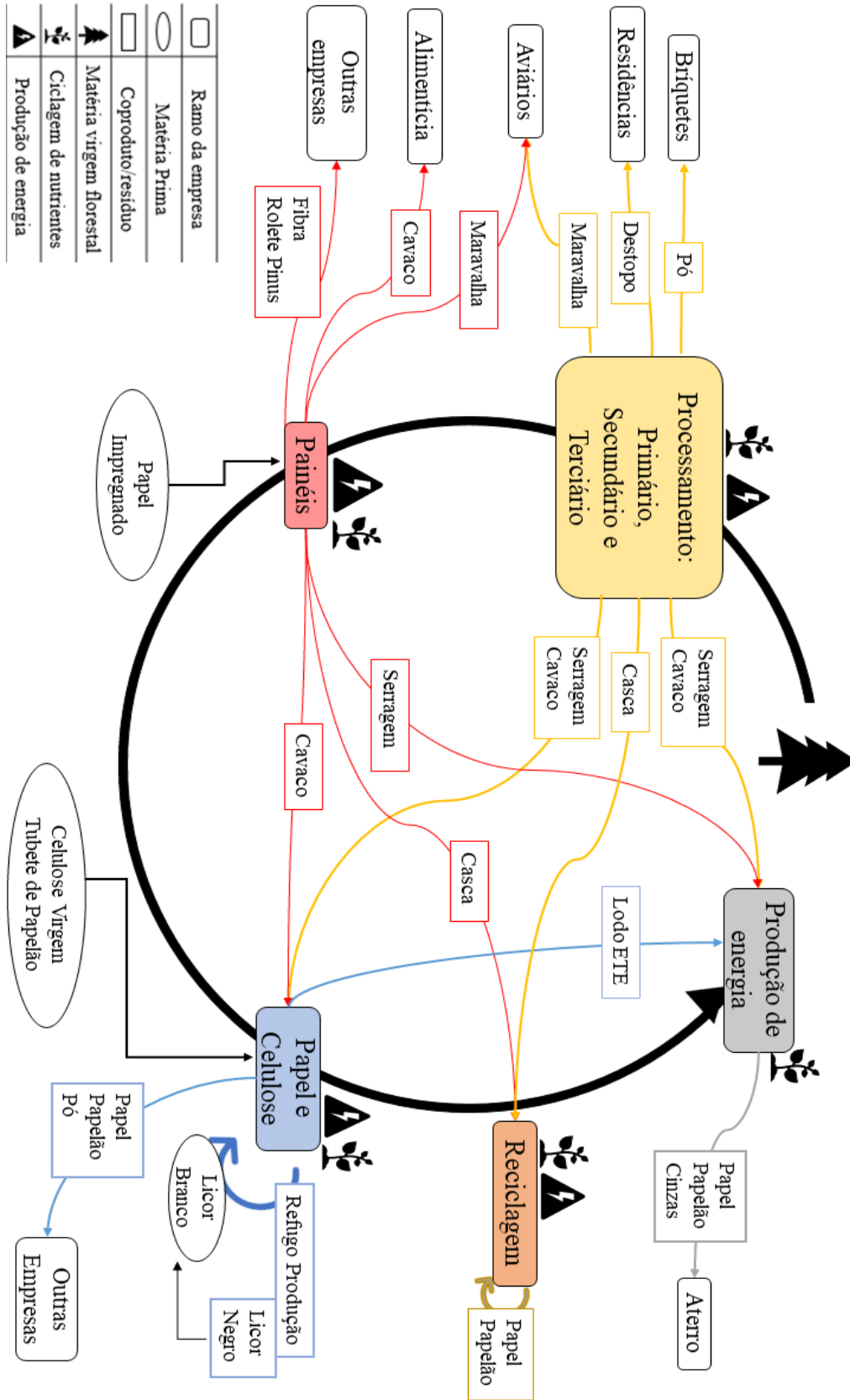
Os ramos de processamento primário, processamento primário e/ou secundário e processamento primário, secundário e terciário foram juntados para representação devido à similaridade nos resíduos florestais produzidos e das matérias primas utilizadas, que são basicamente toras, madeira serrada – quando não há processamento primário e chapas de madeira. Os outros ramos possuem particularidades importantes a serem demonstradas e, portanto, foram mantidos de maneira separada.

Ainda, o símbolo representando geração de energia e o símbolo representando ciclagem de nutrientes foram colocados juntos aos ramos que utilizam coprodutos florestais como combustível para geração de energia, seja este na forma de calor ou eletricidade, e a utilização dos resíduos (cascas ou cinzas) para aproveitamento como corretor de pH do solo ou adubo, pela própria empresa ou pela empresa receptora, promovendo assim a ciclagem de nutrientes. Dessa maneira, o resíduo cinzas só foi mencionado quando sua destinação, devido a características das cinzas, não era para ciclagem de nutrientes.

O símbolo de geração de energia não foi colocado junto ao ramo de produção de energia por esse ser o produto final deste ramo.

Em observação a figura elaborada, verifica-se o sistema circular que se desenvolveu no setor florestal da região de Lages de Santa Catarina. Um complexo sistema de fluxos se desenvolveu, com início no aproveitamento da matéria-prima florestal virgem, que após ter um extenso aproveitamento nos processos produtivos, é por fim submetido a recuperação energética e devolvido a natureza, propiciando a ciclagem de nutrientes.

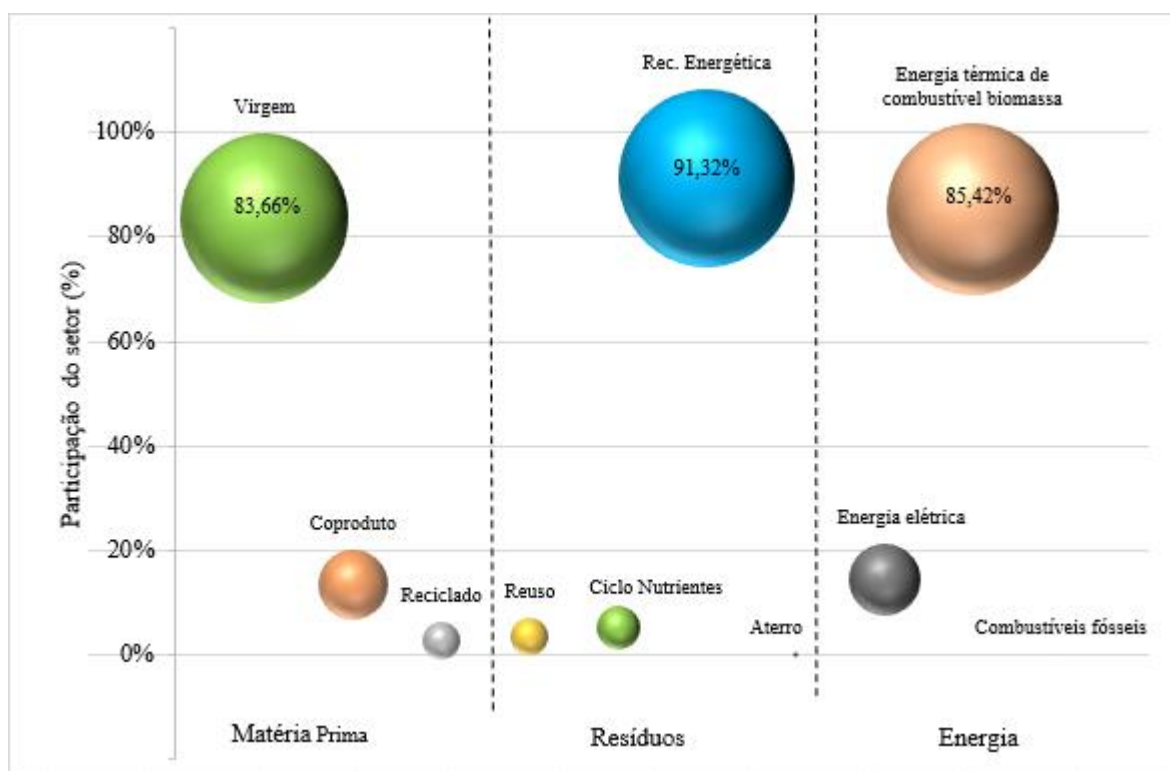
Figura 16 - Relações de circularidade.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Os resultados totais obtidos sobre a participação do setor quanto às matérias primas, energia e resíduos foi resumido na Figura 17, onde pode-se perceber o domínio das matérias-primas virgens, do destino dos resíduos para recuperação energética e da principal forma de energia utilizada ser a térmica, com origem no combustível de biomassa de resíduos da produção.

Figura 17 - Participação do setor nas variáveis de matéria-prima, energia e resíduos.



Fonte: Elaborado pela autora (2018).

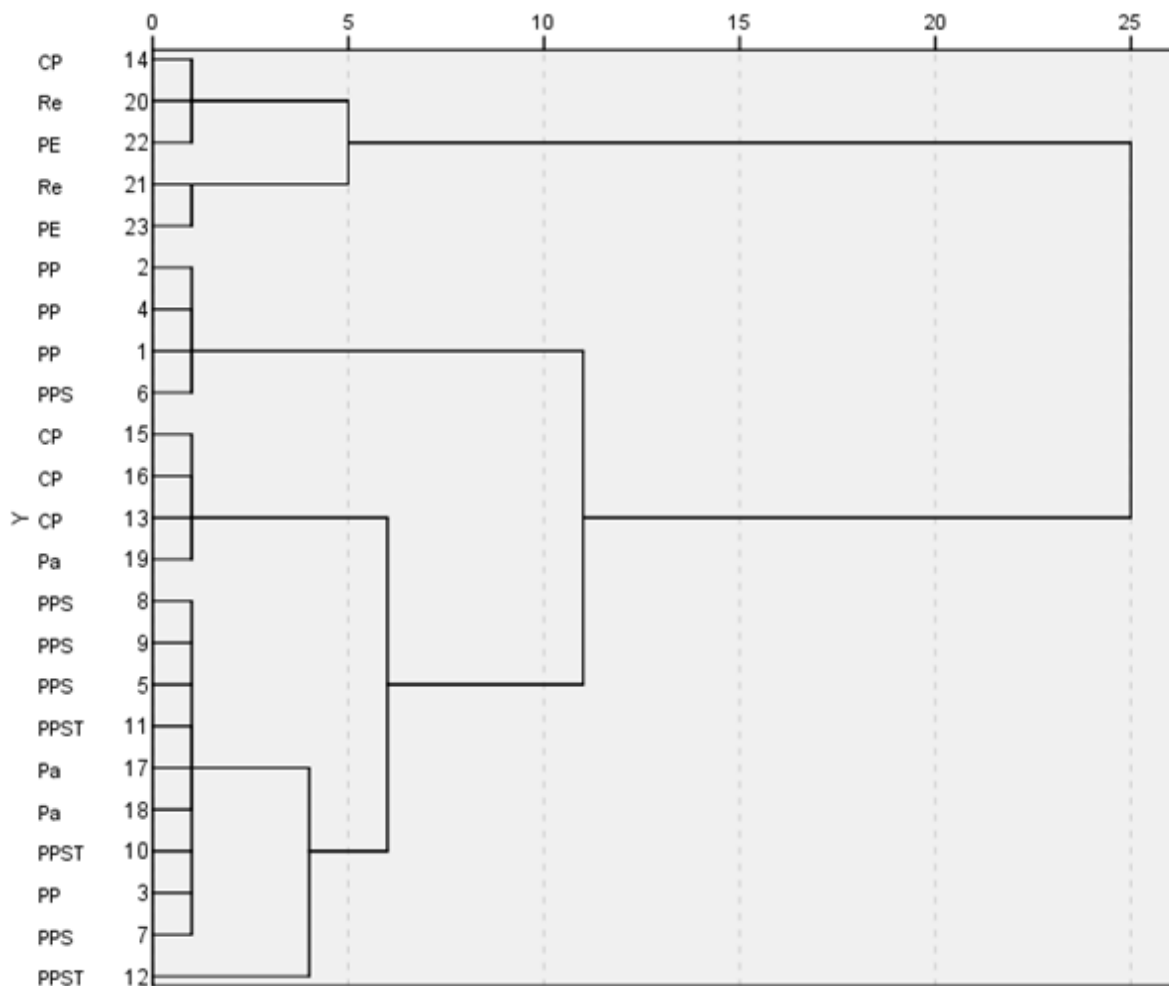
4.2.7 Análise Multivariada de Agrupamentos

A análise multivariada de agrupamentos foi realizada buscando agrupar as empresas e por meio dos resultados e entender a participação relativa que apresentam em relação as variáveis de circularidade selecionadas.

O dendrograma obtido para a análise de agrupamento está apresentado na Figura 18 - *Análise de aglomerados para pmpv, pebi e pemp.* e considera as variáveis:

- Participação relativa de matérias primas virgens (pmpv);
- Participação relativa de consumo de energia de biomassa (pebi);
- Rendimento de transformação de matérias primas em produtos (pemp).

Figura 18 - Análise de aglomerados para pmpv, pebi e pemp.



Fonte: Gerado pela autora no software SPSS (2018).

Em análise a este dendrograma pode-se visualizar a formação de 4 grupos principais, sendo eles apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 - *Clusters* formados para pmpv, pebi e pemp.

Cluster	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Empresas	CP (14), Re (20), PE (22), Re (21), PE (23)	PP (2), PP (4), PP (1), PPS (6)	CP (15), CP (16), CP (13), Pa (19)	PPS (8), PPS (9), PPS (5), PPST (11), Pa (17), Pa (18), PPST (10), PP (3), PPS (7), PPST (12)

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

O primeiro grupo formado reúne as empresas cujo material utilizado como matéria-prima é constituído de material que já foi submetido a transformações em outros processos produtivos. Dentro desse *cluster*, se pode observar ainda a formação de dois grupos menores. O primeiro, possui as empresas CP (14), Re (20), em que as duas primeiras utilizam como matéria-prima papel, produzindo sacos kraft e tubetes de papel, respectivamente. A terceira empresa, produtora de energia possui entre suas matérias o uso de resíduos de outras empresas florestais, além do lodo de ETE de empresa de papel e celulose. Quanto às outras duas empresas, Re (21) e PE (20) usam como matéria-prima os coprodutos e resíduos de produção de outras empresas. Esse grupo pode então ser entendido como o que permite, por meio da utilização desses materiais como matérias primas, o fechamento do círculo no setor industrial da região. Ademais, outra característica em comum é que todos possuem rendimento de transformação de seus materiais em mais de 90%.

O segundo grupo, por sua vez, formado pelas empresas PP (1), PP (2), PP (4) e PPS (6), possuem entre suas características afins o fato de que produzem produtos submetidos apenas a transformação primária ou secundária, sendo as empresas PP (1), PP (2) e PP (4) dedicadas apenas a atividade de serraria, enquanto a empresa PPS (6) entrega como produtos pré-cortados de madeira. Outra similaridade é o fato de que PP (1), PP (2) e PPS (6) são microempresas, sendo a PP (4) uma pequena empresa. Por fim, uma característica que diferencia de maneira significativa esse dos outros grupos é que nenhuma dessas empresas utiliza os resíduos de biomassa como combustível para gerar vapor, permitindo, quando há necessidade, que a madeira seque ao ar livre. O rendimento de conversão de matérias em produtos nesse grupo situa-se de 50 a 60%.

O terceiro *cluster* é constituído pelas empresas de papel e celulose, que atuam produzindo diferentes tipos de papel (branco, kraft, higiênico). A empresa Pa (19) agrupada com este grupo tem como seu produto painéis em MDF. Nesse caso duas são médias empresas e duas grandes. Além disso, o rendimento de transformação das matérias em produtos dessas empresas fica na faixa de 84 à 96%.

Por fim, o quarto *cluster* engloba o maior número de empresas. Dentre essas, a Pa (17) é microempresa e a PPS (9) é uma empresa classificada como pequena, enquanto as demais são consideradas média ou grande. Todas as empresas aqui agrupadas têm em sua matéria-prima principal a tora, matéria virgem, realizando seus processos desde a transformação primária da madeira. Outra característica comum às empresas é que estas produzem materiais de processamento secundário e terciário, tais como cercas, molduras, portas e móveis, ou seja,

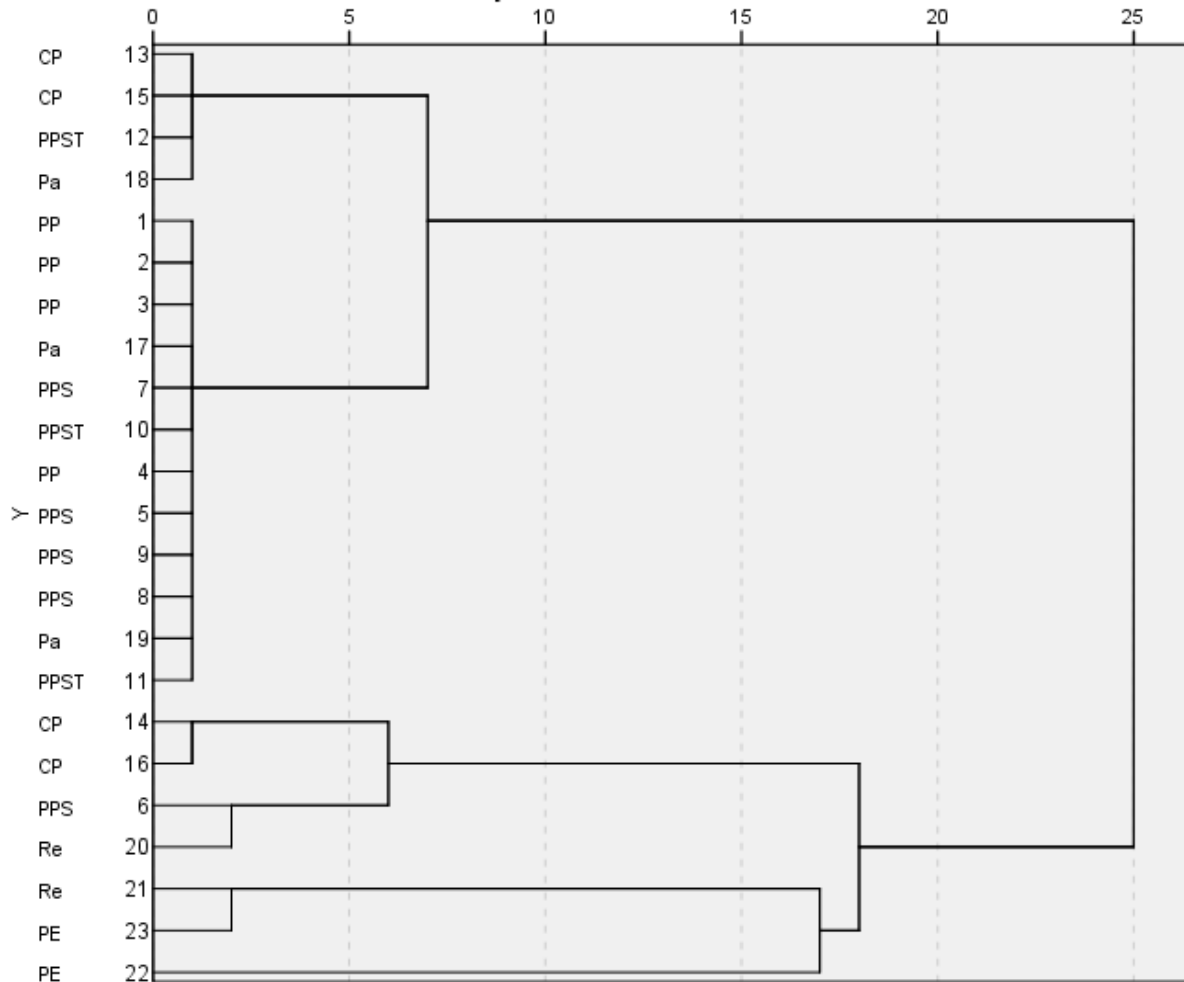
artefatos de madeira, e no caso da Pa (17) e Pa (18), estas atuam na produção de madeira beneficiadas e painéis. Não obstante, todas possuem uma participação relativa de biomassa como combustível bastante elevada, sendo a PPST (11) com 70% e todas as demais em torno de 90% do consumo energético baseado nesse biocombustível. Quanto a empresa PPST (12), que aparece com um certo distanciamento das demais, o motivo se deve a seu baixo rendimento de transformação de matérias primas em produtos, valor que se acredita poder estar comprometido pela informação fornecida pela empresa.

De maneira geral, verifica-se que o ciclo inicial do setor é representado pelas empresas do segundo *cluster*, com produtos de transformação simples e total dependência de matérias primas virgens. O quarto *cluster* reúne as empresas que trabalham com transformações secundárias e terciárias, oferecendo como produtos artefatos de madeira. O terceiro *cluster* englobou as empresas cujo processo produtivo é complexo e entrega produtos refinados, como papel. Já o primeiro *cluster* agrupa as empresas de fechamento de ciclo, ou seja, dão a utilidade final aos materiais empregados no setor florestal. Uma observação importante, é que evoluindo o *cluster* das empresas de processamento primário, para as de fechamento de ciclo, observa-se a variação no sentido de total dependência de matéria-prima virgem, gradualmente reduzida pelos grupos intermediários até ser apenas figurativa no grupo que atua no fechamento de ciclo. Da mesma maneira, o rendimento de transformação começa em torno de 50 a 60% para o primeiro grupo, crescendo gradativamente para em torno de 95% para o *cluster* 1, de fechamento de ciclo.

O dendrograma obtido para a análise de agrupamento é apresentado na Figura 19, considerando as variáveis relacionadas ao destino dos resíduos. Sendo assim, a análise foi realizada a partir das variáveis:

- Participação relativa de resíduos com finalidade para reuso (pdre);
- Participação relativa de resíduos com finalidade para ciclagem de nutrientes (prcn);
- Participação relativa de resíduos com finalidade para recuperação energética (prec);
- Participação relativa de resíduos com finalidade para aterro (prat);
- Participação relativa de aproveitamento interno dos resíduos (pri).

Figura 19 - Dendrograma para as variáveis pdre, prcn, prec, prat e pri.



Fonte: Gerado pela autora no software SPSS (2018).

Em análise a este dendrograma, pode-se visualizar a formação de 6 grupos principais, sendo eles apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 - Clusters obtidos para as variáveis dre, dcn, drec, dat e pri.

Cluster	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Empresas	CP (13), CP (15), PPST (12), Pa (18)	PP (1), PP (2), PP (3), Pa (17), PPST (10), PP (4), PPS (5), PPS (9), PPS (8), Pa (19), PPST (11)	CP (14), CP (16)	PPS (6), Re (20)	Re (21), PE (23)	PE (22)

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

O primeiro *cluster* engloba as empresas que produzem papel CP (13) e CP (15), além da PPST (12) e a Pa (18) que produzem molduras, pallets e compensados, respectivamente. A principal característica que une essas empresas é o alto aproveitamento de seus resíduos de maneira interna, ou seja, na própria empresa. As empresas são médias e grandes, sendo o porte, além da atividade produtiva, um fator que pode influenciar na capacidade das empresas em aproveitar internamente seus resíduos. Em especial, as duas empresas de Celulose e Papel possuem um aproveitamento interno de mais de 95% dos resíduos gerados. Outra característica é que o principal destino desses resíduos (em torno de 90%) é para recuperação energética, ou seja, como combustível para obter vapor em seus processos produtivos. O restante dos resíduos é dividido entre aproveitamento no processo produtivo e ciclagem de nutrientes, sendo essa última finalidade por meio das cinzas obtidas na caldeira.

O segundo *cluster* e o mais expressivo, compreende empresas de produção primária, secundária, terciária e painéis. O grupo tem como principal característica de semelhança o fato de que majoritariamente o aproveitamento de seus resíduos se dá de maneira externa, tendo apenas uma empresa que aproveita 39% de seus resíduos no próprio pátio. Três dessas empresas, PP (1), PP (2) e PP (4), não possuem caldeiras que funcionam a base de biomassa, sendo o principal motivo pelo baixíssimo aproveitamento interno de seus resíduos. O *cluster* envolve todas as empresas que atuam como serrarias, e quase todas que produzem artefatos de madeira e painéis, tendo como principal finalidade de seus resíduos a recuperação energética em outras empresas.

O terceiro *cluster* compreende duas empresas de celulose e papel, que têm majoritariamente o aproveitamento de seus resíduos na própria empresa, na forma de reuso no processo produtivo. No caso de uma das empresas, o aproveitamento ocorre no pátio de sua unidade vizinha.

O quarto *cluster* é formado por uma empresa de processamento primário e secundário (produto: madeira serrada) e outra de reciclagem (produto: tubetes de papel). Esse agrupamento provavelmente se deve ao fato de que ambas empresas não possuem caldeiras para aproveitamento de resíduos como biomassa, possuem alto rendimento de transformação de matéria-prima em produto, em torno de 90% e têm a totalidade de seus resíduos aproveitados por outras empresas. É importante ressaltar que provavelmente apenas na perspectiva dos resíduos essas empresas se encontrariam no mesmo agrupamento, uma vez que seus processos e produtos não possuem relação.

O quinto *cluster* apresenta o agrupamento de uma empresa de reciclagem e uma de energia. O principal fator de agrupamento dessas empresas se deve ao fato de que trabalham no

fechamento do ciclo, e assim, para ambos os casos a principal finalidade de seus resíduos é a ciclagem de nutrientes.

Por fim, o sexto *cluster* consta de apenas uma empresa. Apesar de ser uma empresa que trabalha no fechamento de ciclo, o motivo pelo qual não foi agrupada com outras empresas no que tange a utilização de seus resíduos é simples. Por utilizar lodo de ETE e um insumo químico para agregar poder calorífico a mistura de combustível com resíduos de biomassa, a cinza gerada possui propriedades que demandam o seu envio para aterro.

De maneira geral, as empresas que trabalham com transformações menos complexas do produto (*Cluster 2*), não possuem alta representatividade no aproveitamento interno de seus resíduos, que possuem alto aproveitamento como combustível por outras empresas. As empresas de processos produtivos mais complexos, como celulose e papel (*Clusters 1 e 3*), possuem um elevadíssimo aproveitamento interno de seus resíduos, seja no processo produtivo ou para recuperação energética. Quanto as empresas de fechamento de ciclo, Re e PE (*Clusters 4 e 5*), devido a sua característica de realizar a última forma de aproveitamento possível do material, a produção de resíduos além de ser bastante reduzida, tem como finalidade principalmente o aproveitamento para ciclagem de nutrientes.

4.2.8 Economia Circular no Setor de base florestal da região de Lages/SC

Diversos são os fatores que contribuem para que seja estabelecida a Economia Circular e para que a mudança para esse modelo seja rentável aos fabricantes, tais como: políticas de governo, modelos de negócio inovativos e resilientes, como mudanças no design dos produtos, desmaterialização de materiais, uso em cascata de materiais, separação dos ciclos técnicos e biológicos, uso de fontes de energias renováveis, recuperação dos resíduos biológicos, recuperação energética dos materiais, entre outros (EMF, 2012).

Neste trabalho, os fatores relacionados com a separação dos ciclos técnicos e biológicos, uso em cascata dos materiais, uso de fontes de energias renováveis e recuperação dos resíduos biológicos e recuperação energética puderam ser observados. A utilização da madeira para diversas aplicações, antes de seu fim de vida, sendo utilizada desde matéria-prima virgem, coproduto com possibilidade de reinserção no processo produtivo, coprodutos destinados a produção de energia e ainda resíduos destinados a reciclagem e a ciclagem de nutrientes, representa o uso em cascata dos produtos.

Além do mais, ambos ciclos técnicos e biológico são atendidos, isso pois, tanto a reinserção dos materiais ocorre no ciclo técnico, ou seja, no processo produtivo, como os

resíduos casca e cinzas são usados para reinserção de nutrientes do solo, tanto por aplicação direta no solo, quando a finalidade dada é o uso nas fazendas de reflorestamento, quanto quando submetidos a compostagem para uso em lavouras.

Quanto ao modelo de negócios e políticas de governo, apesar de esses serem temas que não foram explorados no presente trabalho, Wahrlich (2018), cujo objeto de estudo foi esse mesmo arranjo industrial, estudou alguns pontos de incentivo e limitações para a simbiose industrial.

Em seus resultados, a autora observou que 65% das fontes de inovação advém de iniciativa interna das empresas, havendo uma falta de internalização de esforço no âmbito do complexo industrial para inovação via ampliação das trocas de fluxos num quadro de Simbiose Industrial. A autora também observou que o principal incentivo identificado pelas empresas para a realização das trocas foi a adequação ao mercado e a participação em sindicatos, que organizam o complexo produtivo da região.

Já como limitações, as empresas identificaram os custos com a logística reversa, má manutenção nas rodovias para transportes e ausência de recursos para investir em tecnologias para a melhor utilização de resíduos. A autora ainda menciona que 79% das empresas responderam que existe pouca disponibilidade de mão-de-obra qualificada na região.

Observando as informações deste trabalho com um enfoque na escala de aplicação, verificou-se em micro-escala iniciativas de P+L, conforme classificado por Su et al. (2013) como meio de aplicação da EC nessa escala. As práticas de P+L foram identificadas com mais expressividade nos ramos de Pa, CP, Re e PE, com destaque para unidades pertencentes às empresas com escala de atuação nacional e internacional, que possuem também outras unidades de fabricação.

Ademais, foi observado que de fato existem trocas de material, água, energia e coprodutos entre as empresas, no nível do complexo industrial, que conforme mencionado por Guisellini, Cialani e Ulgiati (2015), é ao que se refere a aplicação de economia circular a meso-escala.

Logo, o presente estudo é um exemplo claro que a existência de um arranjo industrial favorece a existência de uma Economia Circular, uma vez que possibilita as trocas entre as empresas. Fica também demonstrado que o setor de base florestal de Lages possui os fatores necessários para o desenvolvimento da Economia Circular, mostrando por meio dos fluxos que ocorrem que o setor se encaminha nesse sentido.

Com o presente estudo foi demonstrado o comportamento dos ramos de atuação e suas características são descritos, como quais são dependentes de recursos virgens, quais os

coprodutos/ resíduos gerados, quais ramos tem maior capacidade de aproveitamento interno de seus resíduos, quais possuem maior capacidade de absorver resíduos de outras empresas e de realizar aproveitamento energético dos resíduos. Por meio deste, espera-se auxiliar os *stakeholders* a enxergar as principais potencialidades do setor, incentivando as trocas de resíduos como uma maneira de agregar valor aos produtos e reduzir os custos das empresas.

4.3 ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

As indústrias do setor florestal estão dentre as sujeitas a licenciamento ambiental para ter sua atividade em funcionamento. Nesse sentido, a Resolução CONSEMA nº 98/2017 determina o potencial poluidor de acordo com as características intrínsecas de cada atividade, em Pequeno (P), Médio (M) e Grande (G), para ar, água, solo e geral, considerando a atividade principal exercida pela empresa (SANTA CATARINA, 2017).

As empresas entrevistadas, conforme seu ramo de atuação e o potencial poluidor inerente previstos pela Resolução CONSEMA nº 98/2017, estão listadas na Tabela 19.

Tabela 19 - Potencial poluidor por ramo de atividade.

Ramo de atividade	Nº de empresas	Potencial Poluidor
Processamento Primário	4	Ar (P); Solo (P); Água (P); Geral (P)
Processamento Primário e/ou Secundário	5	Ar (P); Solo (P); Água (P); Geral (P)
Processamento Primário, Secundário e Terciário	3	Ar (M); Solo (M); Água (M); Geral (M)
Celulose e papel	4	Ar (M) Água (G) Solo (M) Geral (G)
Painéis	3	Ar (M); Solo (M); Água (M); Geral (M)
Reciclagem	2	Ar (M); Solo (M); Água (M); Geral (M)
Produção de energia	2	Ar (M) Água (M) Solo (M) Geral (M)
Total de empresas	23	-

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

Por meio dos dados coletados, a respeito dos fluxos de materiais e energia, pode-se inferir a redução em alguns impactos ambientais inerentes às atividades, resultados da implementação de um modelo circular de economia, que estão compilados no Quadro 2.

Sabe-se que o cultivo de florestas para fins econômicos traz diversos benefícios ambientais, sociais e culturais. Além das florestas plantadas apresentarem-se como uma opção para áreas degradadas por mau uso agrícola ou antropizadas e inaptas para agricultura,

contribuem também com seu potencial de armazenamento de carbono (HIGA; ZANATTA; RACHWAL, 2017).

Os produtos florestais ocupam o quarto lugar dentro do agronegócio no Brasil, e ainda assim ocupam apenas 2% dos hectares tidos como agriculturáveis no país (MOREIRA; OLIVEIRA, 2017). No entanto, o histórico de desenvolvimento da região de Lages de Santa Catarina demonstra o quanto de sua vegetação nativa já foi suprimida para a expansão da indústria local, conforme foi apresentado na sessão 2.4 do histórico da área.

Nesse sentido, há de se considerar a importância da vegetação natural. Isso, pois, dentro de seus serviços de suporte, há a diversidade biológica inerente a cada ecossistema, ou seja, genes e espécies que proporcionam suporte a todo funcionamento dos ecossistemas, tal qual os serviços de provisão, que compreendem os produtos como alimentos, madeira e material genético fornecidos à sociedade (PARRON et al., 2015).

Dessa maneira, hoje é imprescindível a preservação das áreas nativas remanescentes na região e a consequente preservação do Bioma Mata Atlântica, que conta com diversas espécies em perigo de extinção, em especial na região em estudo, a *Araucaria angustifolia* (MMA, 2014), popularmente conhecida como Araucária.

Nesse sentido, no que se refere aos materiais, percebe-se que por meio do aproveitamento de materiais reciclados e coprodutos, diminuiu-se em até 17% o consumo de materiais virgens. Essa diminuição reflete o sugerido pela EMF (2013), no sentido de que a economia circular teria efeitos a longo prazo no estoque de recursos naturais.

Desses 17%, mais de 13% corresponde a coprodutos. O fato de uma parte das matérias primas ser oriundas de coprodutos demonstra a evolução da circularidade do sistema, além de ser possível observar as vantagens ambientais e financeiras advindas.

De acordo com a EMF (2015b), em sistemas lineares o uso de energia é muito mais intenso que em casos circulares, pelo dispêndio necessário para a extração das matérias e transformação para o processo de produção. Também, por ser possível sua utilização na forma de coproduto, o dispêndio de água e energia é reduzido por não haver o processo de preparação das matérias primas virgens para sua utilização nos processos. A economia circular prioriza a possibilidade de utilizar coprodutos em detrimento de produtos reciclados, quando possível, uma vez que mesmo nestes casos o uso de água e energia é mais elevado (WEF, 2014).

Ainda, observando-se a Tabela 7, verifica-se que os coprodutos são a única forma de matéria-prima cujo raio médio de fornecimento é menor que 100 km, sendo nesse caso de apenas 53,75 km. Nesse sentido, observa-se o menor consumo de combustível e menor emissão

de gases de efeito estufa (GEE), haja vista uma emissão aproximada de 62 g CO₂/tkm¹ em veículos pesados utilizados para transporte de carga (KELLER et al., 2010), resultando na menor depleção da camada de ozônio do que o causado pelo transporte das matérias primas virgens. Outra questão que pode ser inferida é a menor pressão sobre as rodovias para o transporte de material.

Dessa maneira, entende-se que o uso de coprodutos oferece uma oportunidade para o complexo produtivo local para manter sua produtividade com menor depleção dos recursos naturais, ou seja, da diminuição da disponibilidade de recursos naturais.

Ainda quanto aos materiais, no tocante às embalagens utilizadas nos produtos, observa-se que como a maior parte do transporte é realizada a granel, ou apenas com fitilhos, de maneira que é pequeno o volume de material utilizado para embalar os produtos.

Quanto a geração de resíduos, observou-se quase o total aproveitamento dos materiais florestais, dentro do próprio processo ou como coproduto para outras empresas, de maneira que apenas uma pequena porção (0,003%) dos resíduos de materiais florestais é dado como rejeito e destinado ao aterro sanitário.

Além deste aproveitamento demonstrar o rendimento no uso dos materiais, também elimina um grande problema que costumava ser visualizado na região, o depósito de rejeitos nos pátios das empresas. Estes eram estocados em depósitos a céu aberto, ou simplesmente queimados (FURTADO et al. 2012), sem qualquer tipo de proteção ou controle ambiental, favorecendo a contaminação do solo e lençol freático e a emissão de GEE.

Ainda no que diz respeito aos GEE, a empresa geradora de energia, que centraliza a recepção desses resíduos, foi autorizada pelo Comitê Executivo de Mecanismo do Desenvolvimento Limpo da ONU a negociar créditos de Carbono, pela redução de emissões de carbono em resultado ao seu processo produtivo (ENGIE, 2007).

Quanto aos resíduos que já permaneceram por anos dispostos de maneira incorreta no pátio das fábricas, seu potencial de aproveitamento energético foi estudado, sendo descoberto inferior ao daquele dos resíduos que circulam regularmente para a produção de energia, de maneira que foi concluído que a idade do material e a maneira com que fica armazenado são fatores importantes na utilização desse material como combustível (WARMLING et al., 2018).

Também reduz a ocupação de aterros sanitários, outro benefício esperado da inserção da economia circular (EMF, 2013), e por consequência, ajuda a reduzir a necessidade de que

¹ tkm – uma tonelada transportada por um quilômetro

novas áreas sejam suprimidas para a construção dos mesmos. Dessa maneira, contribui para a preservação dos recursos naturais e neste caso, do bioma Mata Atlântica.

A destinação de resíduos sólidos para aterro sanitário, de acordo com a EMF (2012), significa a perda de sua energia residual, enquanto o seu reuso salva significativamente mais energia.

Quanto aos resíduos que possuem como destino a compostagem, ou no caso das cinzas, correção do solo, ocorre a ciclagem de nutrientes, ou seja, a devolução ao solo dos nutrientes que foram extraídos quando da extração de matérias primas.

O uso das cinzas como fertilizantes em áreas de silvicultura é uma opção reconhecida há algum tempo (BELLOTE; NEVES, 2001), sendo usadas para aliviar a exaustão de nutrientes e acidificação do solo (SÁ, 2013).

No entanto, de acordo com Simioni et al. (2018), visto a grande quantidade gerada, sua disposição deve ser estudada, a fim de que se evite a contaminação do solo, recursos hídricos e a dispersão de partículas na atmosfera que podem trazer, por exemplo, problemas respiratórios às pessoas. Dessa maneira, madeiras submetidas à químicos podem apresentar limitações na aplicação das suas cinzas e devem ser submetidas à testes antes da sua disposição no solo.

Estudos demonstram que em sua composição, as cinzas de *Pinus* e *Eucalyptus* possuem Cálcio, Ferro, Potássio, Magnésio, Manganês, Sódio e Fósforo (SÁ, 2013) e potencial de neutralização do solo (MAEDA; BOGNOLA, 2013).

De acordo com as empresas entrevistadas, as cinzas utilizadas no solo foram submetidas à testes da sua composição, comprovando sua capacidade de prover nutrientes e também a ausência de compostos que indicariam perigo de contaminação ambiental. Nesse sentido, o estudo de Sá (2013), por meio da metodologia de Análise de Ciclo de Vida observou que o uso de cinzas ao invés de fertilizantes químicos evita incidências ambientais nas categorias de alterações climáticas, depleção de recursos abióticos, formação de oxidantes fotoquímicos, acidificação e eutrofização. Por meio do uso das cinzas para ciclagem de nutrientes, encontra-se uma forte ligação com o proposto pela EC em separar os ciclos técnicos e biológico, buscando devolver a natureza o que dela foi extraído.

Um total de 91,32% dos resíduos tem como destino a geração de energia, dentro das próprias firmas, como combustível para a caldeira, sendo convertido em energia térmica, ou vendido para outras firmas para conversão em energia térmica e elétrica. Tal situação configura-se como uma das mais importantes no sentido de circularidade para esse sistema.

Outro ponto importante a se observar é que 53,81% dos resíduos têm seu aproveitamento de maneira interna, ou seja, na própria empresa. De acordo com EMF (2013), de maneira geral,

os círculos menores criarão benefícios de maior substituição de materiais virgens, diminuição de custos com transporte, reprocessamento e disposição final de materiais.

Assim como qualquer atividade, a geração de energia por biomassa possui desafios e impactos ambientais. Há o conflito de uso da terra para plantações energéticas que poderia ser aproveitado para produção de alimento, a perda de biodiversidade natural e degradação do solo, que estão em boa parte relacionados a extração e transporte do biocombustível (MAFAKHERI; NASIRI, 2014).

O fato de que a produção de energia se dá principalmente pela utilização de resíduos de biomassa minimiza os impactos acima mencionados, uma vez que os impactos de extração e transporte da biomassa florestal (toras) das fazendas ocorre apenas uma vez para um material que será integralmente aproveitado. Assim, o uso dos resíduos de biomassa como combustível limita a necessidade de extração de recursos virgens para geração de energia, diminuindo a depleção dos recursos naturais e os demais impactos inerentes a esse processo. Ainda, o uso de resíduos de biomassa como fonte de energia reduz a necessidade do uso de combustíveis fósseis.

Entre os impactos ambientais evitados pelo não uso de combustíveis fósseis, pode-se citar os impactos da extração do carvão e as quantidades de dióxido de carbono (CO_2) e dióxido de enxofre (SO_2) emitidos na sua conversão para energia, bem como, no caso de plantas nucleares, evita-se o perigo de liberação de pó radioativo que pode liberar metais tóxicos e resíduos químicos, que colocariam em risco a vida presente nas redondezas da planta de geração de energia (AKOREDE; POURESMAEIL, 2010).

Ainda no sentido da utilização dos resíduos de biomassa como combustível para geração de energia, há espaço para inovações tecnológicas contribuírem com a redução de impactos ambientais. Em seu estudo comparando diferentes cenários para geração de energia para a produção de papel no Brasil, Silva et al. (2015) observaram que a gaseificação de biomassa, ao invés de apenas sua queima nas caldeiras, ofereceria ainda uma maior possibilidade de redução dos impactos ambientais.

Quanto à questão econômica, ao mesmo tempo que o custo com matérias primas é reduzido, ocorre a valorização econômica dos coprodutos. Ainda, há a diminuição de custos com rejeitos que seriam enviados ao aterro sanitário e a geração de empregos para o devido funcionamento da logística de aproveitamento de coprodutos.

Há de se destacar que as tecnologias desenvolvidas para a abordagem circular devem ser analisadas individualmente para a situação que se apresente, utilizando de análises ambientais quantitativas para tomada de decisão de sustentabilidade (CORCELLI et al., 2018).

Esta situação foi relatada pelo ramo de celulose e papel, por exemplo, que informou que o uso de fibras recicladas foi desativado, com o processo retornando o uso de fibras virgens. Isso pois, por meio de estudo de Análise de Ciclo de Vida observou-se que o dispêndio de água e energia para reciclagem era muito alto, de maneira que tanto econômico como ambientalmente, o melhor aproveitamento seria a venda do resíduo ao invés de sua reciclagem.

Além disso, a reciclagem não pode ser considerada para a total substituição de fibras virgens, visto que o processo leva à mudanças nas propriedades das fibras e diminuição da qualidade final do papel (CORCELLI et al., 2018).

Com relação ao uso de água, o consumo desta costuma ser um ponto de debate com relação às florestas plantadas em comparação às florestas naturais (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2018), de maneira que o esforço para preservação deste recurso pela indústria é altamente relevante. Observou-se no presente estudo, que metade das empresas realiza o reuso da mesma, assim como duas realizam captação da água da chuva, diminuindo o consumo de água dos recursos hídricos e contribuindo para a preservação destes.

A implementação da Economia Circular no setor florestal e sua contribuição para diminuição dos impactos ambientais pode ser observada também em outros países, o que reforça os resultados aqui encontrados para a região.

Fraga (2017) apresenta dados da Economia Circular no setor florestal em Portugal e na Espanha, apresentando a evolução na diminuição do consumo de água e de energia elétrica, rejeição de menos efluentes líquidos e diminuição do envio de resíduos sólidos para aterros. Para o caso da Espanha, também se observou menor emissão de dióxido de carbono (CO₂). A África do Sul também apresenta evoluções na virada para a Economia Circular no ramo da indústria madeireira, com taxas de recuperação de resíduos que chegaram em 61% em 2013, a fim de reduzir a necessidade de terra para aterros sanitário e aumentar o aproveitamento de recursos virgens (ICFPA, 2015).

A Finlândia é um país de alta expressividade no setor florestal, com uma economia altamente baseada neste setor. Um estudo realizado em uma fábrica do ramo de celulose e papel observou que suprir parcialmente a demanda de eletricidade e calor por meio da circularidade dos resíduos dentro do sistema, leva a uma redução do potencial de aquecimento global em mais de 70% (CORCELLI et al., 2018).

Ewijka, Park e Chertow (2018) buscaram responder como a otimização do potencial de recuperação dos principais resíduos de papel, em um panorama mundial, contribuiria para a economia circular. Seus resultados mostraram que um sistema ótimo de aproveitamento representaria um provável potencial técnico para 2050 e que a taxa de insumos recicláveis aumentaria de 38% para 67 a 73% enquanto a intensidade dos aterros reduziria de 331-473 kg/t papel para 0-2.6 kg/t de papel.

Quadro 2- Matriz de aspectos e impactos ambientais nos meios biótico, físico e social (continua).

	Consumo de Matéria-prima		Geração de Resíduos		Consumo de Energia	
	Aspecto	Impacto	Aspecto	Impacto	Aspecto	Impacto
Meio Biótico	Redução no consumo de matérias virgens: redução na supressão de vegetação nativa para florestas plantadas de exóticas	Conservação do bioma Mata Atlântica: fauna e flora	Destino de resíduos florestais para correção do pH do solo e adubo	Retorno de nutrientes para a natureza, tais como: Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na e P.	Uso dos resíduos de biomassa como combustível para as caldeiras para obtenção de vapor e eletricidade	Conservação do Bioma Mata Atlântica, que não é degradado para fornecer recursos ou área para energia

Quadro 2 -Matriz de aspectos e impactos ambientais nos meios biótico, físico e social (continua).

	Consumo de Matéria-prima		Geração de Resíduos		Consumo de Energia	
	Aspecto	Impacto	Aspecto	Impacto	Aspecto	Impacto
Meio Físico	Processamento de coprodutos: - Menor consumo de água e energia - Menor km percorrida para transporte e menor consumo de combustível	Redução da depleção de recursos naturais	Eliminação do depósito de resíduos florestais nos pátios das empresas	Redução de poluição do solo	Uso dos resíduos de biomassa, material renovável e de baixa poluição, como combustível para as caldeiras para obtenção de vapor e eletricidade	Redução da depleção no consumo de recursos não renováveis
		Redução da emissão de Gases de Efeito Estufa	Quase total redução do envio de resíduos florestais para o aterro	Redução da emissão de Gases de Efeito Estufa		Redução da depleção de recursos virgens como fonte de combustível e energia
				Redução da supressão do Bioma Mata Atlântica para construção de aterros	Fonte de energia limpa, resultando na redução da emissão de Gases de Efeito Estufa	

Quadro 2 -Matriz de aspectos e impactos ambientais nos meios biótico, físico e social (conclusão).

	Consumo de Matéria-prima		Geração de Resíduos		Consumo de Energia	
	Aspecto	Impacto	Aspecto	Impacto	Aspecto	Impacto
Meio Social	Processamento de coprodutos: - Menor consumo de água e energia - Menor distância percorrida para transporte e menor consumo de combustível	Redução do custo com insumos virgens	Baixa quantidade de resíduos para aterros	Redução de custos com aterro	Uso dos resíduos de biomassa como combustível para as caldeiras para obtenção de vapor	Redução dos custos com outros combustíveis para obtenção de vapor
		Redução do custo com transporte	Necessidade de mão-de-obra para logística dos resíduos	Geração de empregos	Produção de energia elétrica a partir do vapor: acordo de venda de energia para outros ramos de atuação do setor florestal	Impulso do setor pela compra de energia das empresas produtoras de energia
		Agrega valor aos coprodutos de outras empresas do setor florestal	Acordo de venda dos resíduos florestais para o ramo de produção de energia	Agrega valor monetário aos resíduos Garantia de destinação ambiental correta dos resíduos		Diminuição de custo com energia elétrica em relação a compra de energia da rede

Fonte: Elaborado pela autora (2018).

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar como o arranjo industrial da região de Lages realiza sinergias buscando um modelo de Economia Circular que incentiva a redução do uso dos recursos virgens e dos desperdícios, e promove a diminuição do impacto ambiental do setor produtivo. Para tanto, foi elaborado e aplicado um questionário em 23 empresas da região de Lages que são parte do setor florestal, contemplando os diferentes setores do ramo de atuação desse setor.

Por meio das informações e dados fornecidos pelas empresas foi constatado que o setor realiza sinergias no sentido em que promove o aproveitamento dos coprodutos como matéria-prima para outras empresas e também como biocombustível para geração de energia, diminuindo a dependência de recursos virgens e o desperdício de materiais, promovendo assim a preservação dos recursos naturais.

O primeiro objetivo específico buscou caracterizar as empresas do complexo industrial de base florestal da região de Lages, conforme porte e atividades desenvolvidas, e estas foram classificadas conforme os ramos de transformação primária (4), transformação primária e/ou secundária (5), transformação primária, secundária e terciária (3), celulose e papel (4), painéis (3), reciclagem (2) e produção de energia (2). Quanto ao porte, foram identificadas 5 microempresas, 5 pequenas empresas, 8 médias e 5 grandes.

O segundo objetivo específico do trabalho foi descrever e analisar o fluxo de materiais, energia e água do ecossistema industrial e suas relações com o fechamento do ciclo produtivo no contexto da economia circular. Com relação as matérias-primas, foi verificado que 83,66% correspondem a materiais classificados como virgens, 13,54% coprodutos e apenas 2,80% de material reciclado. Ainda, o setor que representa o maior consumo de matérias primas é o de papel e celulose, devido ao porte de suas empresas.

Com relação a transformação das matérias-primas em produto, de maneira geral, o rendimento de transformação aumenta do processamento primário e secundário para os processamentos mais complexos, como painéis e celulose e papel e nos ramos finais do ciclo, reciclagem e produção de energia, chega a quase 100%. O setor atua tanto no mercado interno quanto no externo, inclusive, sendo o mercado externo de grande importância para absorver a produção do setor.

Quanto a geração de resíduos florestais, 53,81% do total produzido tem aproveitamento no pátio da própria empresa, com alta expressão no ramo de celulose e papel. No que diz

respeito a finalidade de uso dada aos resíduos florestais, uma porção ínfima foi identificada como encaminhada para aterro 0,04%, em sequência 3,48% como reuso nos processos e 5,16% para ciclagem de nutrientes e 91,32% enviados para recuperação energética, na forma do uso de resíduos de biomassa como combustível para obtenção de vapor nas caldeiras.

O resultado do consumo energético tem relação principal com essa disponibilidade de biocombustível, de maneira que o consumo energético se dá em uma proporção de 85,53% para vapor obtido do uso de biomassa, 14,45% de energia elétrica e 0,003% de combustíveis fósseis utilizados no processo.

Em relação ao uso de água pelo setor, a principal fonte de captação é o Rio Canoas, com apenas duas empresas utilizando água da Chuva. 51% das empresas mencionaram realizar o reuso de água nos seus processos.

Por meio do mapa de relações e dos resultados da análise estatística de agrupamentos, percebe-se que um complexo sistema circular desenvolveu-se no setor de base florestal da região de Lages de Santa Catarina, apresentando os fatores necessários para o desenvolvimento da Economia Circular.

Com base na utilização de matéria-prima florestal virgem, o setor gera, especialmente em seus ramos primários, secundário e terciário de transformação, resíduos, que passam a ser considerados coprodutos pela sua capacidade de serem utilizados como matéria-prima nos processos produtivos de outros ramos, como painéis, celulose e papel, reciclagem e produção de energia. Especialmente, os coprodutos de base florestal possuem um alto poder calorífico, o que possibilita sua utilização como biocombustível nas caldeiras para obter calor.

Os ramos que possuem processos mais complexos e as empresas que desenvolvem mais de uma atividade, como transformação terciária, painéis, celulose e papel demonstraram maior capacidade de absorver coprodutos em seus processos, assim como seus processos tem maior capacidade de absorver de seus próprios resíduos. De maneira geral, o uso de matéria-prima virgem é maior para os ramos de processamento primário, secundário e terciário, sendo gradativamente substituído pelo uso de coprodutos pelos ramos painéis e celulose e papel, e evoluindo para a absorção, pelos ramos reciclagem e produção de energia, dos resíduos dos demais ramos. No mesmo sentido, ocorre o aumento gradual no rendimento da transformação de matérias em produtos.

O uso dos coprodutos como biocombustível para gerar vapor é a característica mais importante da circularidade do setor, uma vez que por meio desta e do alto rendimento de transformação do setor de produção de energia, a matéria que entra no setor é altamente explorada, tendo por fim sua utilização para recuperação energética. Nesta, o principal resíduo

gerado são as cinzas da cadeira, que por sua composição podem ser devolvidas à natureza proporcionando a ciclagem de nutrientes.

Por fim, o terceiro objetivo visou descrever como as ações que levam ao fechamento do ciclo e à economia circular contribuem para a redução dos impactos ambientais. Nesse sentido, o aproveitamento que se dá aos materiais florestais resulta na diminuição do consumo de matérias virgens, ajudando a preservar os recursos naturais, em especial nesse caso, o Bioma Mata Atlântica. A utilização dos coprodutos pela própria empresa ou absorvido no processo de outras também implica em menores distâncias percorridas para o transporte do material e consequente menor emissão de gases de efeito estufa, bem como ocorre a diminuição do envio de materiais para aterros, diminuindo a necessidade do maior desmate de área para construção destes.

Além do mais, e principalmente, o uso do material florestal como combustível para gerar energia fornece uma fonte não poluente e renovável de energia, que por ser oriunda do consumo de resíduos também diminui a dependência do recurso natural virgem. O uso de cascas do processo e cinzas como fertilizantes na área de silvicultura complementa o ciclo, devolve os nutrientes ao solo e diminui a dependência de insumos químicos.

Por fim, o diagnóstico deste trabalho observou que o setor possui as características necessárias para o desenvolvimento da Economia Circular, com um sistema evoluído de fluxos no setor, promovendo trocas entre as empresas que promovem benefícios econômicos, sociais e ambientais.

O aproveitamento dos materiais entre empresas resulta na valorização econômica dos coprodutos das empresas, na diminuição de custos com envio para aterro e no fornecimento de um material de menor custo para as empresas receptoras. Além do mais, a logística de compra, venda e transporte resulta na geração de empregos. Quanto a redução dos impactos ambientais negativos, esta verifica-se principalmente pela menor necessidade de matérias-primas virgens, menor área requisitada para aterro, retorno de nutrientes às florestas, levando a preservação do Bioma local e ainda, pelo uso de uma fonte de energia limpa e renovável.

Uma dificuldade encontrada para esse trabalho foi a disponibilização dos dados necessários, dado o apurado ritmo de trabalho das indústrias e também o fato de que o controle das variáveis levantadas não é realizado por todas as empresas, em especial as micro e pequenas empresas. Nesse sentido, a aplicação de alguns indicadores já propostos foi prejudicada, levando o trabalho a explorar as relações de circularidade da maneira apresentada.

Há um abrangente espaço de pesquisa a ser estudado na área da economia circular, e deixa-se assim como sugestão a inclusão de variáveis econômicas e sociais no estudo. Ainda, entende-se de fundamental importância para devida apreciação dos impactos ambientais, positivos ou negativos resultantes da economia circular, a aplicação de metodologias e indicadores que mensurem quantitativamente esses impactos.

REFERÊNCIAS

AMORIM, P. G. R.; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGOS, J. A. A. Propriedades da madeira de *Pinus caribaea* e *Eucalyptus grandis* estimadas por colorimetria. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 461-466, 2013.

AMURES – ASSOCIAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DA REGIÃO DE LAGES. **IDHM dos Municípios**. (2018). Disponível em:<
<https://www.amures.org.br/cms/pagina/ver/codMapaItem/67109>> Acesso em: 03 Set. 2018.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3 ed. 236p. Brasília:Aneel, 2008.

ANDRADE, D. C. Economia e meio ambiente: aspectos teóricos e metodológicos nas visões neoclássica e da economia ecológica. **Leituras de Economia Política**, v. 14, p. 1-31, 2008.

ARAÚJO, G. C. de. et al. Sustentabilidade empresarial: conceito e indicadores. In: CONGRESSO VIRTUAL BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO, 6., 2006. **Anais eletrônicos...** Disponível em: < http://www.convibra.org/2006/artigos/61_pdf.pdf> Acesso em 17 ago. 2017.

ARRUDA, J. A. et al. Uso da cinza de biomassa na agricultura: efeitos sobre atributos do solo e resposta das culturas. **Revista Principia**, n. 30, p. 1-13, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001**: Sistemas da gestão ambiental: requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

AZEVEDO, J. L. de. A Economia Circular Aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 11., 2015. **Anais...** Rio de Janeiro, 2015, ISSN 1984-9354.

AKOREDE, M. F.; POURESMAEIL, H. H. E. Distributed energy resources and benefits to the environment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 14, p.724–734, 2010. DOI: :10.1016/j.rser.2009.10.025.

BANAITÉ, D. Towards circular economy: analysis of indicators in the context of sustainable development. **Social Transformation in Contemporary Society**, v. 4, p. 142-150, 2016.

BELLOTE, A. F. J.; NEVES, E. J. M. **Calagem e Adubação em espécies florestais plantadas na propriedade rural**. Circular Técnica. EMBRAPA: Colombo. 6p. 2001.

BLOMSMA, F.; BRENNAN, G. The emergence of circular economy: a new framing around prolonging resource productivity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 603- 614, 2017. DOI: 10.1111/jiec.12603.

BRAND, M. A. et al. **Relatório final do projeto “Caracterização da produção e uso dos resíduos madeiráveis gerados na Indústria de base florestal da região de Lages Catarinense”**. Relatório Técnico. Lages: Uniplac, 2001.

BRAND, M. A. et al. Caracterização do rendimento e quantificação dos resíduos gerados em serraria através do balanço de materiais. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 32, n.2, p. 247-259, 2002.

BRAND, M.A.; NEVES, M.D. **Levantamento da disponibilidade dos resíduos industriais e florestais de madeira e avaliação da variação de sua qualidade energética em função das condições climáticas anuais, na região de Lages – Santa Catarina**. Relatório técnico. Lages: Uniplac/Tractebel, 2005, 73 p.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>> Acesso em: 13. Out. 2018.

BRASIL. **Resolução n. 001 de 23 de janeiro de 1986**. Avaliação de Impactos Ambientais. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília, DF, 24 jan. 1986.

BRASIL. **Resolução n. 357 de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Brasília, DF, 18 mar. 2005.

BROSOWSKI, A. et al. A review of biomass potential and current utilisation e Status quo for 93 biogenic wastes and residues in Germany. **Biomass and Bioenergy**, v. 95, p. 257 – 292, 2016.

BRUTTI, R. C.; SIMIONI, F. J. Caracterização e controle do abastecimento de biomassa em uma usina de co-geração de energia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INDUSTRIALIZAÇÃO DA MADEIRA E PRODUTOS DE BASE FLORESTAL, 2. **Anais...** Pinhais, 2006.

BRUTTI, R. C. **O poder calorífico da madeira de *Pinus patula* Schldl. & Cham.** 2005. 45 f. Relatório de estágio supervisionado. Engenharia Industrial Madeireira. Universidade do Planalto Catarinense, Lages, 2005.

BRUTTI, R. C. **Análise da logística do pátio de biomassa de uma cogeneradora de energia.** 2008. 125 f. Relatório de estágio supervisionado. Engenharia Industrial Madeireira. Universidade do Planalto Catarinense. Lages, 2008.

CAVALCANTI, C. Concepções da economia ecológica: suas relações com a economia dominante e a economia ambiental. **Estudos avançados**, v. 24, n. 68, p. 53-67, 2010.

CASTRO, A. M. G. Prospecção de cadeias produtivas e gestão da informação. **Transinformação**, v. 13, n.2, p. 55-72, 2001.

CASTRO, A. M. G. de; LIMA, S. M. V.; SILVA, J. F. V. **Complexo agroindustrial de biodiesel no Brasil:** competitividade das cadeias produtivas de matérias-primas. Brasília: Embrapa Agroenergia, 2010. 712 p.

CAYZER, S.; GRIFFITHS, P; BEGHETTO, V. Design of indicators for measuring product performance in the circular economy. **International Journal of Sustainable Engineering**, v. 10, p. 289 – 298, 2017.

CECHIN, A.; VEIGA, J. E. O fundamento da Economia Ecológica. In: MAY, P. (Org.). **Economia do Meio Ambiente:** teoria e prática. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010, p. 33-48.

COMISSÃO MUNDIAL PARA MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – CMMD. **Relatório Bruntland – Nosso Futuro Comum.** Organização das Nações Unidas, Nova York, 1987.

COMITÊ DO RIO CANOAS. **Bacia Hidrográfica:** Descrição. Disponível em: < http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=23&idMenu=326&idMenuPai=325> Acesso em: 04 Jun. 2018.

CORCELLI, F. et al. Energy efficiency and environmental assessment of papermaking from chemical pulp - A Finland case study. **Journal of Cleaner Production** v. 198, p. 96-111, 2018.

CORONEL, D. A et al. O aproveitamento dos resíduos do setor florestal de Lages- Santa Catarina. In: CONGRESSO DA SOBER: CONHECIMENTOS PARA AGRICULTURA DO FUTURO, 45. **Anais...** Londrina, 2007.

DEBONI, Tamires. L. **Qualidade da biomassa florestal utilizada para geração de energia por uma unidade cogeneradora em Lages-SC**. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2017.

EASAC - EUROPEAN ACADEMIES SCIENCE ADVISORY COUNCIL. **Indicators for a circular economy**. Halle/Saale, Germany, 2016.

EHRENFELD, J. R.; GERTLER, N. Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundborg. **Journal of Industrial Ecology**, v. 1, n. 1, p. 67-79, 1997.

EWIJKA, S. V.; PARK, I. Y.; CHERTOW, M. R. Quantifying the system-wide recovery potential of waste in the global paper life cycle. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 134, p. 48 -60, 2018.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Avaliação Ambiental Integrada para Licenciamento de Operação de Áreas de Pesquisa (Loap) com Plantas Geneticamente Modificadas: Estudo de Caso do Mamão Geneticamente Modificado para Resistência ao Vírus da Mancha Anelar**”. 55p. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**. Vol.1: Economic and business rationale for an accelerated transition. 98p. Isle of Wight: EMF, 2012.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**. Vol. 2: Opportunities for the consumer goods sector. 112p. Isle of Wight. EMF, 2013.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**. Vol. 3: Accelerating the scale-up across global supply chains. 41p. Isle of Wight, 2014.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION; GRANTA DESIGN. **Circularity Indicators: An Approach to Measuring Circularity**. 98p. 2015a.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo à economia circular: o racional de negócio para acelerar a transição.** (s. l.), 2015b.

EMF - ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Economia Circular no Brasil: Uma abordagem exploratória inicial.** Brasil. 31p. EMF, 2017.

ENGIE. **Tractebel Energia comercializa 940 mil toneladas de créditos de carbono.** 2007. Disponível em:
<<http://www.engeenergia.com.br/wps/portal/internet/imprensa/press-release/conteudos/tractebel-energia-comercializa-940-mil-toneladas-de-creditos-de-carbono>> Acesso em: 22 Nov. 2018

FRAGA, M. A. C. H. C. **A economia circular na indústria portuguesa de pasta, papel e Cartão.** 103 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) Universidade de Lisboa. Lisboa, 2017.

FERNANDEZ, B. P. M. Ecodesenvolvimento, desenvolvimento sustentável e economia ecológica: em que sentido representam alternativas ao paradigma de desenvolvimento tradicional? **Desenvolvimento e meio ambiente**, n. 23, p. 109-120, 2011.

FINEP – FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS. **Brasil avança no tema economia circular**, 2017. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/noticias/todas-noticias/5459-brasil-avanca-no-tema-economia-circular>> Acesso em: 01. Sep. 2017.

FURTADO, T. S. et al. Mapeamento da frequência de uso e características da biomassa Florestal utilizada para geração de energia em Lages/SC. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 795-802, 2012

GEORGE, D. A. R.; LIN, B. C.; CHEN, Y. A circular economy model of economic growth. **Environmental Modelling & Software**, v. 73, p. 60-63, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.06.014>

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11-32, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

GONÇALEZ, J. C. et al. Relações entre dimensões de fibras e de densidade da madeira ao longo do tronco de *Eucalyptus urograndis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p. 81-89, 2014.

GRI – GLOBAL REPORTING INITIATIVE. **G4 Sustainability Reporting Guidelines: Implementation Manual**. 269 p. Amsterdam: GRI, 2015.

HENNE, R. A. **Caracterização da formação e da composição das cinzas e dos problemas associados à combustão da biomassa florestal em caldeira**. 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018,

HIGA, R. C. V.; ZANATTA, J. A.; RACHWAL, M. F. G. Plantações florestais comerciais e a mitigação na mudança do clima. cap. 6 In: OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (Ed.). **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF:Embrapa, 2017.

HOFF, D. N.; SIMIONI, F. J. **O setor de base florestal na Serra Catarinense**. Lages: Editora Uniplac, 2004. 254p.

HOFF, D. N. et al. O setor de base florestal da Serra Catarinense e a emergência de um ecossistema industrial. **RGSA: Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 54-72, 2008.

IACOVIDOU, E. et al. Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: A critical review. **Journal of Cleaner Production**, v.166, p. 910-938, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades@**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4>>. IBGE, 2019. Acesso em: 04 Jan. 2019.

IBM CORP. **IBM SPSS Statistics**. v. 25. 2017.

ICFPA – INTERNATIONAL COUNCIL OF FOREST & PAPER ASSOCIATIONS. Sustainability Progress Report. 36p. 2015.

JARENKOW, Gustavo. L. **Análise da ecoeficiência em uma unidade de cogeração de energia de biomassa florestal**. 94p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018.

KELLER, M. et al. Handbook emission factors for road transport – HBEFA, v. 3.1. INFRAS, Berne, CH, 2010.

KORHONEN, J. Industrial ecology in the strategic sustainable development model: strategic applications of industrial ecology. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 8, p. 809-823, 2004.

KORTENKAMP, K. V.; MOORE, C. F. Ecocentrism and anthropocentrism: Moral reasoning about ecological commons dilemmas. **Journal of Environmental Psychology**, v. 21, n. 3, p. 261-272, 2001. DOI:10.1006/jevp.2001.0205

LATTIN, J. M.; CARROLL, J. D; GREEN, P. E. Análise de Agrupamentos. In: LATTIN, J. M.; CARROLL, J. D; GREEN, P. E. **Análise de dados Multivariados**. São Paulo: Cengage Learning, 2011. Cap. 8. p. 215 – 252. ISBN 978-85-221-0901-2.

LEITÃO, A. Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, 2015.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner production**, v. 115, p. 36-51, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>

LINDER, M.; SARASINI, S.; LOON, P. van. A Metric for Quantifying Product-Level Circularity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 545-558, 2017.

LOPES, H. S. S. **Avaliação de atributos químicos e de bioindicadores da qualidade da água sob diferentes ações antrópicas na Bacia do Rio Canoas no estado de Santa Catarina**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), 127p. Lages, 2017.

MAEDA, S; BOGNOLA, I. A. Propriedades químicas de solo tratado com resíduos da indústria de celulose e papel. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 169-177, 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.74.417.

MAFAKHERI, F. NASARI, F. Modeling of biomass-to-energy supply chain operations: Applications, challenges and research directions. **Energy Policy**, v.67, p. 116–126, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.11.071>

MICROSOFT CORP. MS Excel 2016. Microsoft Corporation. 2016.

MOREIRA, J. M. M. A. P.; OLIVEIRA, E. B. de. Importância do setor florestal brasileiro com ênfase nas plantações florestais comerciais. cap. 1 In: OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. de (Ed.). **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2017.

MMA – Ministério de Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Avaliação de Impacto Ambiental: Agentes Sociais, Procedimentos e Ferramentas**. IBAMA, Brasília, 1995, 134 p.

MMA – Ministério de Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia legal. Portaria nº 443 de 17 de dezembro de 2014: Reconhece as espécies brasileiras ameaçadas de extinção. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, 18 Dez. 2014. Seção 01, p. 110-121.

MGI - MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Resource Revolution: Meeting the world's energy, materials, food, and water needs**. 2011.

MUELLER, C. C. Economia e meio ambiente na perspectiva do mundo industrializado: uma avaliação da economia ambiental neoclássica. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 261-304, 1996.

OLIVEIRA, Y. M. M. de; OLIVEIRA, E. B. As florestas plantadas e sua importância no contexto econômico e socioambiental do Brasil. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SILVICULTURA, 4. **Anais...** Ribeirão Preto, 2018.

ÖZKAYNAK, B.; ADAMAN, F.; DEVINE, P. The identity of ecological economics: retrospects and prospects. **Cambridge Journal of Economics**, v. 36, n.5, p. 1123-1142, jul. 2012.

PARRON et al. **Serviços Ambientais em Sistemas Agrícolas e Florestais do Bioma Mata Atlântica**. 8p. EMBRAPA: Brasília, DF, 2015.

PAULIUK, S. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. **Resources, Conservation & Recycling**, v, 129, p. 81–92, 2018.

PETROBRÁS. Relacionamento com investidores: **Fórmulas de conversão**. Disponível em: <<http://www.investidorpetrobras.com.br/pt/destaques-operacionais/formulas-de-conversao>> Acesso em: 05 mai. 2018.

POLHMAN, M. C. Análise de Conglomerados. In: CORRAR, L. J.; PAULO, E; DIAS FILHO, J. M. **Análise Multivariada: para os cursos de administração, ciências contábeis e economia**. 1. ed – 7. reimpr. São Paulo: Atlas, 2014. Cap. 6, p. 324-388. ISBN 978-85-224-4707-7.

POMPONI, F.; MONCASTER, A. Circular economy for the built environment: A research framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 710-718, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>

RABELLOTTI, R. Is There an “Industrial District Model”? Footwear Districts in Italy and Mexico Compared. **World Development**, v. 23, n. 1, p. 29 - 41, 1995.

RAFAELI NETO, S. L.; BECEGATO, V. A.; CABRAL, J. B. P. Monitoramento da qualidade da água do Rio Caveiras no Planalto Serrano de Santa Catarina com suporte de tecnologias de geomática. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 33, n. 1, p. 27-46, 2013.

SÁ, S. G. de. **Gestão de cinzas de biomassa e avaliação do potencial fertilizante**. 65f. (Mestrado em Engenharia do Ambiente) Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2013.

SALES, R. M. M.; CÂNDIDO, G. A. Economia ecológica, desenvolvimento alternativo e decrescimento: proposição de uma matriz de convergência. **Revista iberoamericana de economía ecológica**, v. 24, p. 123-138, 2015.

SANTA CATARINA. **Resolução n. 98 de 5 de maio de 2017**. CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTAL. Atividades Sujeitas ao Licenciamento Ambiental. Florianópolis, SDS: 2017.

SAUVÉ, S.; BERNARD, S.; SLOAN, P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, v. 17, p. 48-56, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>

SEBRAE - SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS (Org.) **Anuário do trabalho nos pequenos negócios: 2015**. 8ª ed, 528p. Brasília, DF: DIEESE, 2017. ISSN 1983-2095.

SCHEEPENS, A. E.; VOGTLÄNDER, J. G., BREZET, J. C. Two life cycle assessment (LCA) based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case: making water tourism more sustainable. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 257 - 268, 2016.

SCHMITZ, H. Eficiência coletiva: caminho de crescimento para a indústria de pequeno porte*. **Ensaios FEE**, v. 18, n. 2, p. 164-200, 1997.

SEHNEM, S.; PEREIRA, S. C. F.; GIOTTO, O. T. ECONOMIA CIRCULAR: mapeamento dos pesquisadores brasileiros engajados com o tema. SEMINÁRIOS EM

ADMINISTRAÇÃO, 11, 2018, São Paulo. **Anais...** São Paulo, FEAUSP, 2018. ISSN 2177-3866.

SIMIONI, Flávio J. **Análise diagnóstica e prospectiva da cadeia produtiva de energia de biomassa de origem florestal no planalto sul de Santa Catarina.** 132 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SIMIONI, F.J.; ANDRADE, S. **Identificação e prospecção de demanda de madeira e biomassa na região do planalto sul de Santa Catarina.** Relatório de Pesquisa. Lages: Uniplac, 2006.

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A. Abordagens teóricas para análise do agronegócio. In: BINOTTO, E. **Tecnologia e processos agroindustriais.** Passo Fundo: Editora UPF, 2007. p. 17-43.

SIMIONI, F. J. et al. Cadeia produtiva de energia de biomassa florestal: o caso da lenha de eucalipto no polo produtivo de Itapeva – SP. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 310-323, 2018. DOI: 10.5902/1980509831602

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A. Cadeia produtiva de biomassa de origem florestal no Planalto Sul de Santa Catarina. **Floresta**, v. 39, n. 3, p. 501-510, 2009.

SILVA, F.A.da. et al. Estudo de caso sobre alternativa de destinação de lodo de ETE industrial. SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO, 1., 2018, Lages. **Anais...** Lages, UDESC, 2018.

SILVA, D. A. P. et al. Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives. **Journal of Cleaner Production**, v. 93, p.222-233, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.030>

SRIDHAR, R. et al. Treatment of pulp and paper industry bleaching effluent by electrocoagulant process. **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, p.1495–1502, 2011. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.12.028

SU, B. et al. A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215-227, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>

WARMLING, E. C. V. et al. Análise energética dos resíduos madeireiros em depósito antigo a céu aberto. SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 28., 2018, Lages. **Anais...** Lages: UDESC, 2018.

WAHRLICH, Júlia. **Caracterização do ecossistema industrial de base florestal da região de Lages/SC**. 115p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2018.

WAHRLICH, J. et al., Reciclagem de resíduos na indústria de base florestal: o caso do aproveitamento da “casca suja” SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO DA PÓS-GRADUAÇÃO, 1., 2018, Lages. **Anais...** Lages, UDESC, 2018.

WINANS, K.; KENDALL, A.; DENG, H. The history and current applications of the circular economy concept. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 825-833, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.123>

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM. **Towards the circular economy: Accelerating the scale-up across global supply chains**. Geneva, 2014.

ZHOU, Z. et al. MFCA extension from a circular economy perspective: Model modifications and case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 110 – 125, 2017.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO**Seção I – Diagnóstico/características da empresa**

Nome da empresa: _____.

Ramo da atividade da empresa:

- Operações florestais (silvicultura, colheita e reflorestamento)
- Serraria
- Empresa de celulose e papel
- Produtos de madeira de engenharia (estruturais)
- Produtos de madeira de engenharia (não-estruturais)
- Moveleira
- Produtos sem origem na madeira
- Reciclagem
- Produção de energia
- Consumidoras (alimentos, bebida)
- Fábrica de painéis
- Fábrica de artefatos de madeira
- Fábrica de esquadrias
- Empresa de tratamento de madeira
- Outro: _____.

Porte conforme impacto ambiental:

AU - área útil (ha): _____.

AE - área edificada (m²): _____.

Porte conforme número de funcionários:

- Microempresa
- Pequena empresa
- Média empresa
- Grande empresa

Cargo e setor do entrevistado: _____.

Seção II - Entradas no processo produtivo:**A- Materiais:**

1) Relação de tipos de matéria-prima utilizada pela empresa:

TIPO	PESO (t, m ³ ou st)	ORIGEM	FORNECEDOR	LOCAL DA EMPRESA
		() Virgem		
		() reuso		
		() Reciclado		
		() Virgem		
		() reuso		
		() Reciclado		
		() Virgem		
		() reuso		
		() Reciclado		
		() Virgem		
		() reuso		
		() Reciclado		

B - Energia:

1) Sobre a energia consumida na firma:

	Elétrica (KWh/mês)	Térmica (t (vapor)/mês)	Comb. Fóssil (L ou t/mês)
Consumo médio total			

1.1) Fatores que podem causar variações no consumo: _____.

2) Sobre a energia comprada:

	Elétrica (KWh/mês)	Térmica (t (vapor)/mês)	Comb. Fóssil (L ou t/mês)
Quantidade comprada			
Fonte ou material usado			
Fornecedor (produtor)			
Tipo da fonte	() Renovável () Não - renovável	() Renovável () Não - renovável	() Renovável () Não - renovável

3) Sobre a energia própria:

FONTE/ MATERIAL	QUANT. (t, m ³ ou st)	ORIGEM	QUANT. (KWh/mês)	TIPO DA FONTE	QUANT. (t _(vapor) /mês)	TIPO DA FONTE
		() Firma () Arranjo () Externo		() Renovável () Não - renovável		() Renovável () Não - renovável
		() Firma () Arranjo () Externo		() Renovável () Não - renovável		() Renovável () Não - renovável

Sobre a Origem: Firma (coproduto da própria firma); Arranjo (coproduto do arranjo industrial de biomassa florestal); Externo (externo ao arranjo industrial).

C- Água:

1) Qual é o volume total de água é utilizada no processo produtivo? _____ m³/mês

2) Sobre a água utilizada no processo produtivo:

a) Quanto vem de recursos naturais? _____ m³/mês

Qual é a fonte: _____

b) Quanto vem da rede pública de abastecimento? _____ m³/mês

c) Quanto vem de água de reuso da própria firma? _____ m³/mês

Seção III - Período de produção:

1) Sobre o processo produtivo, qual são as informações dos produtos produzidos:

Produto	Quantas unidades	Destino	Quantidade (m ³ , ton)	Embalagem	
				Tipo	Peso ou vol.

Seção IV - Resíduos da produção:**A- Água/Efluente**

1) Geração de efluentes:

Tipo	Quantidade	Unidade	Destino

Completar destino com:

Reuso na empresa de água bruta – (a)

Reuso na empresa de água tratada (b)

Despejo em recurso hídrico de efluente sem tratamento (c)

Despejo em recurso hídrico de efluente tratado (d)

Outro destino (e): _____

B - Materiais

1) Informe sobre os resíduos gerados e seu destino:

Tipo de Resíduo	Quantidade gerada (t/mês)	Destino dos Resíduos (%) ou (t)							Presença de composto tóxico
		Própria Empresa			Outra Empresa	Nome da Empresa	Aterro Sanitário	Reciclagem Nutrientes ²	
		Reuso	Reciclagem	Recuperação Energética					
Biomassa residual ¹									
Licor Negro									
Papel/Papelão									
Cinzas da caldeira									
Outro:									

1- Maravalha/cepilho, lenha (qualquer madeira, mais ou menos fragmentada, utilizada como combustível), serragem, casca, cavaco, lâmina, retalho de lâminas, rolo resto, refilo, destopo, costaneiras.

2- Reciclagem de Nutrientes: destinação para compostagem (C), digestão anaeróbia (DA), corretor de solo (CS).

Seção IV – Comparação temporal**A - Matérias-primas**

1) Houve alguma mudança em relação as matérias primas utilizadas? (Tipo de matérias primas, fornecedores..)

B – Energia

1) Houve alguma mudança em relação a energia? (Variação de consumo, comprada, produzida, material utilizado....)

C- Resíduos

1) Houve alguma mudança em relação ao tipo ou a quantidade de resíduos gerados? Em relação ao destino do mesmo, houve alguma alteração? Se sim, é em função de alguma mudança no processo produtivo?
