



**Manuel António Castro Henriques de Castro**

**Fraga**

Licenciado em Ciências de Engenharia e Gestão Industrial

## **A economia circular na indústria portuguesa de pasta, papel e cartão**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão industrial

Orientadora: Professora Doutora Helena Maria Lourenço Carvalho Remígio, Professora Auxiliar, FCT/UNL

Co-orientadora: Professora Doutora Susana Carla Vieira Lino Medina Duarte, Professora Auxiliar Convidada, FCT/UNL

Presidente: Prof. Doutor Rogério Salema Araújo Puga Leal, Professor auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Arguente: Prof. Doutora Graça Maria de Oliveira Miranda da Silva, Professora auxiliar do ISEG – Lisbon School of Economics and Management

Vogais: Engenheira Marta Maria Castelo Santos de Almeida Domingues do Souto Barreiros, Coordenadora da área de ambiente e Indústria na CELPA

Prof. Doutora Helena Maria Lourenço Carvalho Remígio, Professora auxiliar da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa



## **A economia circular na indústria portuguesa de pasta, papel e cartão**

Copyright @ Manuel Castro Henriques de Castro Fraga, Faculdade de Ciências e Tecnologia,  
Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou forma digital, ou qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado o crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Gostava de agradecer, em primeiro lugar, a oportunidade que me foi dada em estagiar na CELPA e ao seu diretor-geral Eng. Carlos Vieira que sempre me acolheu de uma forma excepcional.

Agradeço também em especial a ajuda, exigência e disponibilidade que a minha orientadora Eng. Marta Souto Barreiros, me deu todos os dias com uma boa-vontade fantástica, fornecendo-me as ferramentas necessárias para levar a tese a um bom porto. O meu obrigado muito particular por tudo o que me ensinou durante estes meses, a paciência que teve nos momentos de maior desânimo e a constante boa-disposição, essencial para me “sentir em casa” durante o período de estágio. De realçar o seu enorme sentido de humor que fez que não houvesse um único dia com que não me risse com alguma história ou episódio que tinha sempre para contar. Muito obrigado Marta por toda a sua simpatia e disponibilidade!

Agradeço também aos membros da CELPA com quem mantive mais contacto. À engenheira Ana Fernandes que sempre me ajudou quando precisei, dando-me sempre confiança para superar algumas ocasiões de maior dificuldade. Outro membro da CELPA que eu agradeço é ao engenheiro Francisco Goes, com quem mantenho uma amizade, e que, graças ao seu sentido de humor muito particular me presenteou durante o tempo de estágio na CELPA com anedotas, boa-disposição e conversas durante as pausas de trabalho.

À professora Helena Carvalho e professora Susana Duarte, um muito obrigado pela incansável atenção, disponibilidade e simpatia que sempre manifestaram, bem como a amizade sempre demonstrada.

Quero agradecer ao meu grande amigo Pe. Hugo, que sempre me ajudou tanto nas alturas de maior “stress” dando-me calma, como nas alturas de maior preguiça, ensinando-me métodos de trabalho e disciplina repetindo uma expressão tão usada por ele: “tem juízo Fraga...”. Muito obrigado pela sua amizade!

Agradeço aos meus pais e irmãs pelo orgulho e entusiasmo demonstrado, fazendo-me acreditar sempre que era possível acabar a tese e cumprir os meus objetivos.

Quero agradecer a alguns dos meus amigos, Vasco Pinto Coelho, António Brandão de Vasconcelos e Pedro Azevedo Coutinho, que me ajudaram, demonstrando interesse no meu trabalho.

Também quero agradecer ao meu amigo António Oom, José Pape, Francisco “Alcatrão”. Agradeço ao meu grupo da “bela-vista” e ao meu grupo de “Risco” com o qual pude partilhar as minhas dificuldades.



## **Resumo**

O elevado desenvolvimento industrial, os novos hábitos de consumo e o crescimento populacional tem levado a uma discussão nos vários setores da sociedade acerca da escassez de recursos, das emissões poluentes, e da produção de resíduos. Desta forma, e em contraposição com o modelo económico linear, no qual os produtos após produzidos e consumidos são eliminados, emerge um novo modelo de negócio: “A Economia Circular”. Este é um modelo baseado na reutilização, recuperação, reciclagem e reparação durante o ciclo de conceção e utilização de um produto.

Este trabalho pretende fazer um estudo da economia circular na indústria de pasta, papel e cartão. Este foi o setor escolhido porque para além de representar cerca de 8% da produção industrial nacional, tem feito esforços significativos para promover o desenvolvimento ambientalmente sustentável. Assim a dissertação pretende dar a conhecer o ponto de situação do setor pasta, papel e cartão no âmbito da economia circular, fazendo uma comparação ibérica nos anos compreendidos entre 2011 e 2015 através do desenvolvimento de um índice comparativo baseado nos resultados de alguns indicadores ambientais. Também é feito um levantamento das atuais barreiras existentes, bem como a sua respetiva relevância na implementação plena da economia circular através da utilização do método Delphi.

Segundo o estudo realizado o setor pasta, papel e cartão em Portugal apresenta um valor de cerca de 26% superior na implementação da economia circular face ao registado no setor em Espanha em 2015, com a peculiaridade que esta diferença tem vindo a diminuir nos últimos cinco anos. Quanto aos resultados do estudo relativo às atuais barreiras na implementação da economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal, o estudo aponta que, entre outras, as três mais relevantes são a falta de regulamentação de flexibilização e promoção do intercâmbio de subprodutos, a demora no processo de classificação de substâncias como subprodutos e a perceção de que o produto final proveniente da utilização de subprodutos é de qualidade inferior quando comparado com um produto que use matéria prima virgem.



## **Abstract**

The higher level of industrial development, the new consumption habits, and the population growth have roused the discussion about the resources shortage, pollutant emissions and waste production.

In this way, and in contrast to the linear economic model, in which the products after production and consumption are eliminated, a new business model emerges: "The Circular Economy". This is a model based on reuse, recovery, recycling and repair during the design and use cycle of a product. The objective of this dissertation is to study the circular economy in the pulp, paper and card industry sector. This sector was selected because it represents 8% of the national industry production and it promotes the sustainable development. It is proposed a comparative index, composed by environmental indicators, to support a cross country analysis between Portugal and Spain. Also, the identification of the existing barriers to the implementation of circular economy was made using the Delphi method.

The cross-country analysis identified that in Portugal the circular economy implementation in the pulp, paper and card industry sector is 26% higher than in Spain, however this difference has been decreasing in the last five years. The study points out that, the three most relevant barriers are the lack of regulation of flexibility and promotion of the exchange of by- products, the delay in the process of classifying substances as by-products, and the perception that the end product from the use of by-products is of inferior quality when compared to a product using virgin raw material.

## **Abreviaturas, siglas e acrónimos**

ALF – Areias do Leito Fluidizado

ASPAPPEL – *Asociación Española de Fabricantes de Pasta, Papel y Cartón*

BREF – *Best Available Techniques Reference Document*

C2C – *Cradle-to-Cradle*

CE – Comissão Europeia

CELPA – Associação da indústria papelreira

CO2 – Dióxido de Carbono

EC – Economia Circular

FSC – *Foward Stewarship Council*

ISO – *International Organization for Standardization*

MTD – Melhores Técnicas Disponíveis

PEFC – *Programme of Endorsement for Forest Certification Schemes*

PNGR – Plano Nacional de Gestão de Resíduos

UE – União Europeia

WBCSD - *World business council for sustainable development*



## Índice

1.1	Descrição do problema.....	1
1.2	Identificação da questão central de investigação .....	2
1.3	Identificação dos objetivos.....	3
1.4	Descrição da metodologia utilizada .....	3
1.5	Estrutura da dissertação.....	6
2.1	Enquadramento.....	7
2.2	História da economia circular e escolas de pensamento .....	8
2.3	A cadeia de abastecimento tradicional: O modelo de negócio linear.....	9
2.4	A gestão verde da cadeia de abastecimento: Uma porta para a economia circular .....	11
2.5	A economia circular e práticas para a sua implementação.....	13
2.6	A aplicação da economia circular na indústria: A ecologia industrial .....	15
2.6.1	O eco-design.....	15
2.6.2	A ecoeficiência.....	16
2.6.3	A simbiose industrial.....	17
2.7	Indicadores de sustentabilidade na avaliação da economia circular.....	18
2.7.1	Indicadores de avaliação da ecoeficiência.....	19
2.7.2	Indicador de avaliação da simbiose industrial.....	19
3.1	Recolha e fontes de dados .....	21
3.1.1	Descrição de dados de fontes primárias .....	21
3.1.2	Descrição de dados de fontes secundárias.....	22
3.2	Método de análise comparativa.....	23
3.3	O método Delphi .....	26
4.1	O processo de fabrico da indústria de pasta, papel e cartão .....	30
4.2	Produção, tratamento de resíduos e utilização de subprodutos .....	33
4.2.1	Exemplo de utilização de um resíduo em subproduto.....	38
4.3	Indicadores ambientais na indústria de pasta, papel e cartão .....	40
4.4	Resultados dos indicadores de ecoeficiência.....	42
4.4.1	Indicador de utilização de madeira.....	42

4.4.2	Indicador de consumo de energia elétrica .....	45
4.4.3	Indicador de rejeição de efluentes líquidos .....	47
4.4.4	Indicador de emissão de CO2.....	49
4.4.5	Indicador de deposição de resíduos sólidos em aterro .....	50
4.5	Resultados dos indicadores de reutilização e de simbiose industrial .....	52
4.5.1	Indicador de reutilização de água.....	52
4.5.2	Indicador de utilização de biocombustíveis .....	53
4.5.3	Indicador de simbiose industrial.....	54
4.6	Resultados da análise comparativa da economia circular .....	55
4.7	Análise de barreiras à economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal .	60
4.7.1	Estrutura do questionário .....	60
4.7.2	Painel.....	60
4.7.3	Análise de dados.....	61
4.8	A economia circular em Portugal e estratégias de melhoria .....	64
5.1	Conclusões gerais.....	71
5.2	Pesquisa futura .....	72
Anexo A	Análise do setor pasta, papel e cartão em Portugal.....	81
A.1	Dados de produção .....	81
A.2	Dados de consumo ou inputs.....	83
A.3	Dados de outputs .....	85
Anexo B	Análise do setor pasta, papel e cartão em Espanha.....	88
B.1	Dados de produção .....	88
B.2	Dados de consumo ou inputs.....	89
B.3	Dados de outputs .....	91
Anexo C	Resultados relativos aos anos 2011-2014 .....	94
Anexo D	Comprovação da possibilidade de incorporação de ALF em argamassas-cola .....	98
Anexo E	Questionários enviados aos peritos .....	100



## Índice de Tabelas

Tabela 2.1: Áreas de aplicação da Economia Circular.....	14
Tabela 2.2: Proposta de indicadores para a ecoeficiência.....	19
Tabela 2.3: Proposta de indicador para a Simbiose Industrial.....	20
Tabela 2.4: Critérios e avaliação de resíduos.....	20
Tabela 4.1: Subprodutos na Indústria de Pasta, Papel e Cartão.....	38
Tabela 4.2: Proposta de indicadores de ecoeficiência de inputs e outputs.....	41
Tabela 4.3: Proposta de indicadores de reutilização de inputs e outputs.....	42
Tabela 4.4: Indicadores do setor em Portugal e Espanha.....	58
Tabela 4.5: Cálculo do índice comparativo relativo a 2015.....	58
Tabela 4.6: Painel de respondentes do questionário utilizando o método Delphi.....	61
Tabela 4.7: Barreiras à economia circular.....	62
Tabela A.1: Destino resíduos sólidos no setor pasta, papel e cartão em Portugal.....	87
Tabela B.1: Destino dos resíduos sólidos no setor pasta, papel e cartão em Espanha.....	93
Tabela C.1: Cálculo do índice comparativo relativo a 2011.....	96
Tabela C.2: Cálculo do índice comparativo relativo a 2012.....	96
Tabela C.3: Cálculo do índice comparativo relativo a 2013.....	97
Tabela C.4: Cálculo do índice comparativo relativo a 2014.....	97



## Índice de Figuras

Figura 1.1: Metodologia de trabalho .....	5
Figura 1.2: Representação da estrutura da dissertação.....	6
Figura 2.1: Cadeia de valor de Porter.....	10
Figura 2.2: Esquema da Supply Chain tradicional .....	11
Figura 2.3: Esquema da Green Supply Chain .....	12
Figura 2.4: Critérios para a conceção de um produto.....	16
Figura 3.1: Metodologia de construção do índice comparativo .....	24
Figura 3.2: Exemplo de gráfico-radar .....	24
Figura 3.3: Exemplo de gráfico-radar normalizado .....	25
Figura 3.4: Processo de formação do método Delphi .....	27
Figura 4.1: Processo de fabrico de pasta.....	32
Figura 4.2: Processo de fabrico de papel.....	33
Figura 4.3: Quantidade de resíduos sólidos produzidos no setor pasta, papel e cartão.....	34
Figura 4.4: Destino dos sólidos produzidos no setor pasta, papel e cartão .....	34
Figura 4.5: Condições para classificação de um resíduo.....	37
Figura 4.6: Recuperação de químicos e energia do processo de produção de pasta .....	39
Figura 4.7: Indicadores de utilização de madeira no setor em Portugal e Espanha .....	44
Figura 4.8: Indicadores de consumo energia elétrica no setor em Portugal e Espanha.....	46
Figura 4.9: Indicadores de rejeição efluentes líquidos no setor em Portugal e Espanha.....	49
Figura 4.10: Indicadores de emissões de CO2 no setor em Portugal e Espanha.....	50
Figura 4.11: Indicadores de deposição de resíduos sólidos no setor em Portugal e Espanha .....	51
Figura 4.12: Indicadores de reutilização de água no setor em Portugal e Espanha.....	53
Figura 4.13: Indicadores de utilização de biocombustíveis no setor em Portugal e Espanha.....	54
Figura 4.14: Indicador de simbiose industrial no setor em Portugal e Espanha.....	55
Figura 4.15: Representação da economia circular no setor em Portugal e Espanha em 2015 ....	57
Figura 4.16: Índices comparativos dos anos correspondentes a 2011-2015 .....	59
Figura A.1: Produção de pasta no setor pasta, papel e cartão em Portugal.....	81
Figura A.2: Produção de pasta para papel reciclado no setor pasta, papel e cartão em Portugal	82

Figura A.3: Produção de papel e cartão no setor pasta, papel e cartão em Portugal .....	82
Figura A.4: Produção total do setor pasta, papel e cartão em Portugal .....	83
Figura A.5: Utilização de madeira no setor pasta, papel e cartão em Portugal .....	84
Figura A.6: Produção de pasta por tipo de madeira utilizada .....	84
Figura A.7: Utilização de energia elétrica no setor em Portugal.....	85
Figura A.8: Captação total de água no setor em Portugal .....	85
Figura A.9: Rejeição de efluentes líquidos no setor em Portugal .....	86
Figura A.10: Emissões de CO2 no setor em Portugal .....	86
Figura A.11: Produção de resíduos sólidos no setor pasta, papel e cartão em Portugal.....	87
Figura B.1: Produção de pasta no setor em Espanha .....	88
Figura B.2: Produção de papel no setor em Espanha .....	88
Figura B.3: Produção total no setor em Espanha .....	89
Figura B.4: Utilização de madeira no setor em Espanha .....	89
Figura B.5: Consumo de energia elétrica no setor em Espanha .....	90
Figura B.6: Captação de água no setor pasta, papel e cartão em Espanha .....	90
Figura B.7: Rejeição de efluentes líquidos no setor em Espanha.....	91
Figura B.8: Rejeições específicas de efluentes líquidos no setor em Espanha.....	91
Figura B.9: Emissões de CO2 no setor pasta, papel e cartão em Espanha.....	92
Figura B.10: Produção de resíduos sólidos no setor em Espanha .....	92
Figura C.1: Representação da economia circular no setor em Portugal e Espanha em 2011.....	94
Figura C.2: Representação da economia circular no setor em Portugal e Espanha em 2012.....	94
Figura C.3: Representação da economia circular no setor em Portugal e Espanha em 2013.....	95
Figura C.4: Representação da economia circular no setor em Portugal e Espanha em 2014.....	95
Figura D.1: Distribuição de partículas, após eliminação de resíduos acima de 1,250mm .....	98
Figura D.2: Ensaio de sais solúveis, de teor de matéria orgânica e de água.....	98
Figura D.3: Resultados relativos à incorporação de ALF tratado em argamassa-cola.....	99

# 1 Introdução

Os novos hábitos de consumo associados ao crescimento populacional e o consequente crescimento do setor industrial fazem acentuar o aumento de emissões de gases com efeito de estufa, e geração de resíduos (Genovese *et al.*, 2015). Neste cenário não se põe apenas a questão da poluição ambiental, mas também o da escassez de recursos, que acaba por provocar incerteza e volatilidade no preço das matérias-primas devido à procura de recursos naturais limitados por parte das indústrias (Comissão Europeia, 2014). Os impactos ambientais influenciam a forma como os negócios são desenvolvidos (Genovese *et al.*, 2015). Desta forma, o modelo de economia circular é fundamental para a competitividade das indústrias a nível mundial e em Portugal, em particular, a importância da implementação e desenvolvimento deste modelo no setor da pasta, papel e cartão e cartão nacional, é fundamental para um crescimento económico sustentável.

## 1.1 Descrição do problema

Apesar dos esforços na promoção da reciclagem e em medidas que visam reduzir a necessidade de extração de recursos, os bens de consumo continuam a seguir uma lógica linear, ou seja, não são reaproveitados e muitas vezes são depositos em aterro após a sua produção e utilização. Estes fatores geram um aumento do consumo de recursos, de emissões de gases poluentes, de rejeição de efluentes líquidos, e uma utilização excessiva de espaço para comportar os produtos em fim de vida. Neste contexto, surge um conceito inovador: A economia circular (Carrillo-Hermosilla *et al.*, 2010; Preston, 2012).

A economia circular é um modelo que visa repensar as práticas económicas da atual sociedade. Baseada no princípio de “fechar o ciclo de vida” dos produtos, esta tem como objetivo, para além de garantir a eficiência de recursos e minimizar a quantidade de emissões e resíduos indesejáveis, promover relações entre empresas de modo a que uma possa utilizar os resíduos de outra como subproduto no seu processo produtivo (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Um exemplo de resposta global ao problema da sustentabilidade ambiental é o da União Europeia (UE). Esta já está a fazer esforços para reduzir as pressões no ambiente, nomeadamente com políticas e estratégias de promoção ao desenvolvimento sustentável, inserido no pacote estratégico denominado “Europa 2020”. Na comunicação da comissão europeia “*A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy*”, por exemplo, é reconhecida a importância da eficiência de recursos, definindo estratégias para uma União Europeia mais sustentável (Comissão Europeia, 2011).

Para promover a economia circular, a União Europeia, na sua comunicação *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*, conta com estratégias e políticas precisas, tanto na área

do consumo, como na gestão residual, destacando a possibilidade existente da utilização de resíduos como matéria-prima no mesmo ou noutros processos produtivos (Comissão Europeia, 2015).

## **1.2 Identificação da questão central de investigação**

No contexto destas políticas, o consumo de matérias-primas e a produção de resíduos tem vindo a ganhar relevância nas últimas décadas sendo até uma das áreas prioritárias da União Europeia (Decisão nº 1600/2002/CE). Portugal, inserido na União Europeia e nas suas respetivas políticas, desenvolveu um plano - o Plano Nacional de Gestão de Resíduos (PNGR) - implementado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), que introduz dois grandes objetivos estratégicos para a gestão de resíduos no período 2011-2020 que estão fortemente relacionados com o conceito de economia circular:

- *Promover a eficiência da utilização de recursos naturais na economia*, estando associado à necessidade de abandonar a lógica linear da produção-consumo prevalecente através da promoção de uma economia tendencialmente circular, em que os bens e produtos que deixam de ter utilidade para os consumidores são reintroduzidos na economia e,
- *Prevenir ou reduzir os impactos adversos decorrentes da produção e gestão de resíduos* limitando a perigosidade dos resíduos produzidos (prevenção qualitativa) e reduzindo a quantidade de substâncias perigosas utilizadas que dão origem a esses resíduos.

Neste sentido, visto que os principais objetivos do PNGR é o desenvolvimento ambientalmente sustentável, e uma vez que se torna importante a caracterização e estudo da economia circular na área industrial, este trabalho visa fazer um estudo da implementação da mesma. Já que o setor pasta, papel e cartão em Portugal representa cerca de 8% da produção da industrial nacional (CELPA, 2014), 4,4% do PIB português e 1,2% do emprego da economia nacional (CELPA, 2015), é neste domínio que este estudo se propõe focar.

Com base na identificação de variáveis ambientais e de produção, típicas da indústria de pasta, papel e cartão, pretende-se calcular os indicadores ambientais que avaliam o setor pasta, papel e cartão em diversas categorias (emissões de CO<sub>2</sub>, rejeição de efluentes líquidos, produção de resíduos sólidos, etc...), e criar um índice comparativo baseado na compilação destes.

O índice comparativo será utilizado para avaliação quantitativa da implementação da economia circular em duas indústrias onde o processo de fabricação de pasta, papel e cartão é semelhante: o setor em Portugal e Espanha. Com base nas conclusões provenientes do estudo dos mesmos, o presente trabalho tem como objetivo retirar conclusões acerca da implementação da economia circular nas mesmas, discutindo os fatores diferenciadores de cada setor. O resultado deste estudo

terá também como objetivo a proposta de melhorias no setor em Portugal bem como a identificação de barreiras e impedimentos na implementação da economia circular do mesmo através da utilização de um questionário utilizando o método Delphi.

### **1.3 Identificação dos objetivos**

Os principais objetivos do trabalho resumem-se nos seguintes pontos:

- 1) A comparação dos setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha, que pressupõe o desenvolvimento de um índice comparativo;
- 2) A identificação das barreiras ou impedimentos existentes na implementação da economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal;
- 3) A apresentação de potenciais estratégias de melhoria no contexto da economia circular no setor pasta, papel e cartão, que pressupõe a identificação das possíveis causas das diferenças nos resultados dos indicadores do setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha.

### **1.4 Descrição da metodologia utilizada**

A metodologia de trabalho seguida para o desenvolvimento do estudo está dividida em três etapas:

- 1) A revisão bibliográfica, 2) a metodologia de investigação, e por fim 3) a análise e conclusões do estudo.

De acordo com a Figura 1.1, a revisão bibliográfica é composta por dois procedimentos de pesquisa: 1) Descrição do tema da economia circular, de forma a estabelecer uma estrutura teórica do trabalho e 2) identificação de indicadores ambientais na literatura, de modo a identificar indicadores que avaliem e analisem a prestação ambiental de uma indústria.

A metodologia de investigação, foi elaborada em duas etapas:

- O cálculo de um índice comparativo para os anos compreendidos entre 2011-2015, foi elaborado em quatro fases:
  - Análise de dados acerca dos consumos e emissões do setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha, fornecidos pela associação da indústria papeleira portuguesa (CELPA) e o boletim estatístico da associação da indústria papeleira espanhola (ASPAPPEL);
  - Cálculo dos indicadores ambientais;
  - Elaboração de gráfico-radar relativo ao setor em Portugal e Espanha;
  - Cálculo de um índice comparativo, necessário para comparar a implementação da economia circular em Portugal e Espanha.

- A utilização do método Delphi para identificação das barreiras mais relevantes existentes na economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal, foi elaborado em duas fases:
  - Elaboração do questionário: foram realizadas entrevistas não estruturadas e uma entrevista semi-estruturada a um perito no tema da economia circular da CELPA (Eng<sup>a</sup>. Marta Souto Barreiros). O objetivo foi identificar quais as barreiras que poderiam constar no questionário para recolha da informação acerca da relevância das mesmas no setor em Portugal;
  - Recolha das respostas e avaliação do consenso entre peritos: foi usado o coeficiente de *Kendall* bem como a utilização do teste de hipótese de *Friedmans* de modo a inferir a existência de evidência estatística que suporte a existência de consenso entre peritos.

Por último, a análise, conclusões e estratégias de melhoria, compreendeu quatro fases:

- Recolha de informação no documento denominado BREF (“Conclusões das Melhores Técnicas Disponíveis”). Foram obtidos dados acerca das técnicas necessárias para uma melhor prestação ambiental no processo de fabrico de pasta, papel e cartão;
- Análise de resultados, no qual se apresentam as possíveis causas de discrepância dos resultados ambientais, obtidos quando se efetua a comparação do setor em Portugal e Espanha;
- Identificação das barreiras para a implementação plena da economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal;
- Elaboração de entrevistas semi-estruturadas a especialistas: A primeira com o diretor-geral da CELPA (Eng. Carlos Vieira), com o intuito de observar e analisar as causas das diferenças dos indicadores estudados. A segunda com a principal promotora da economia circular e coordenadora da área de ambiente e indústria na CELPA (Eng<sup>a</sup>. Marta Souto Barreiros) com o objetivo de aprofundar e ampliar o conhecimento das barreiras mais relevantes provenientes do questionário usado no método Delphi;
- Identificação de estratégias de melhoria, no qual se descrevem genericamente as técnicas que após aplicadas, facilitariam a implementação da economia circular no setor pasta, papel e cartão.

Para a recolha de elementos necessários para a metodologia e conclusões do estudo, foram recolhidos dados através de fontes primárias – entrevistas semi-estruturadas, entrevistas não-estruturadas e dados obtidos diretamente pela CELPA – e através de fontes secundárias, através do boletim estatístico ASPAPEL e através do BREF (MTD).

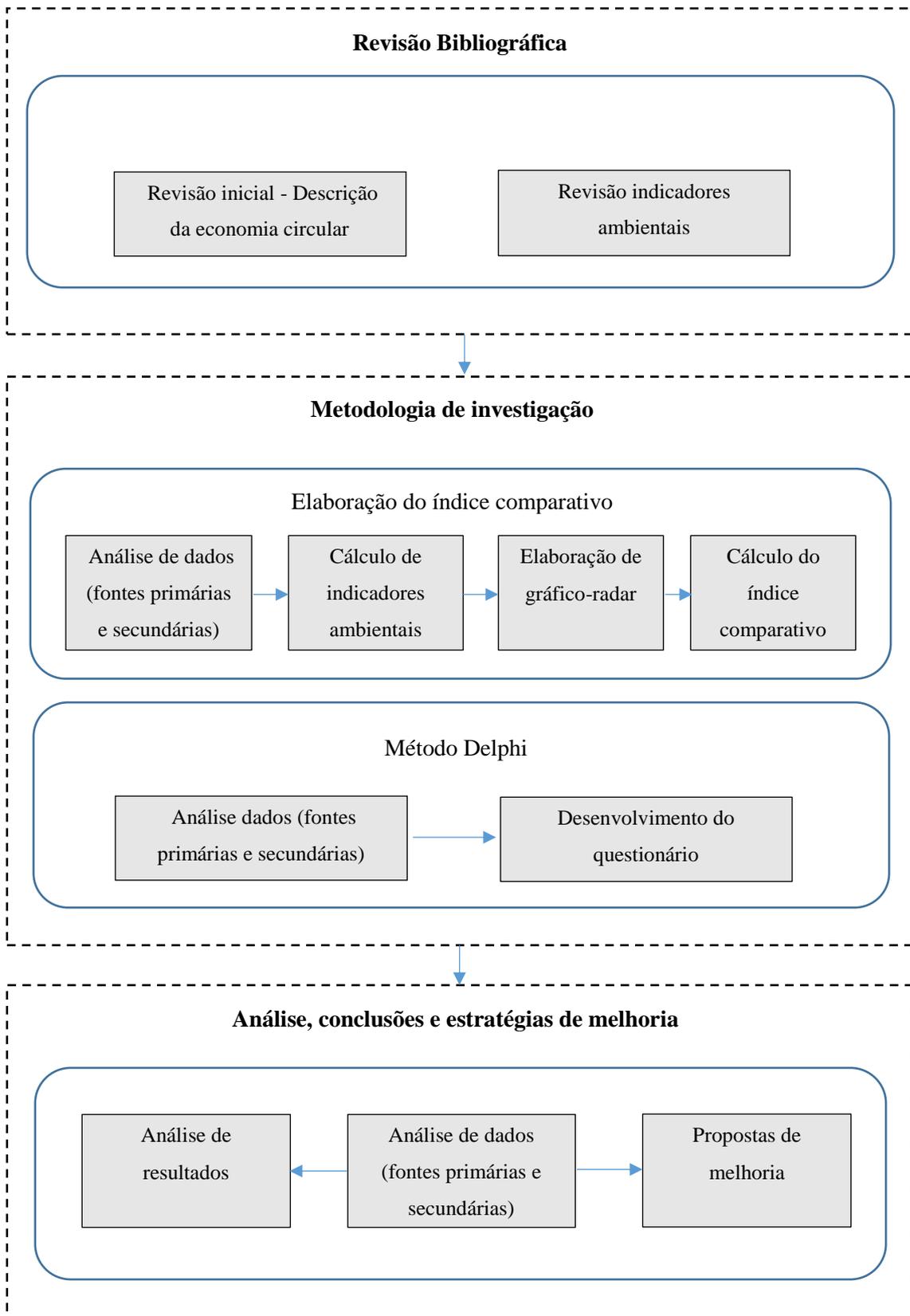


Figura 1.1: Metodologia de trabalho

## 1.5 Estrutura da dissertação

O documento desta dissertação está dividido em cinco capítulos. No primeiro é feita uma introdução ao trabalho a realizar, o segundo capítulo é reservado à revisão da bibliografia relevante, o terceiro especifica a metodologia utilizada no trabalho. No quarto, é descrito o caso de estudo, onde é caracterizado o setor pasta, papel e cartão ibérico no âmbito da economia circular, dando especial enfoque ao setor em Portugal. O quinto capítulo é reservado a conclusões e sugestões. A figura 1.2 representa a estrutura da dissertação.

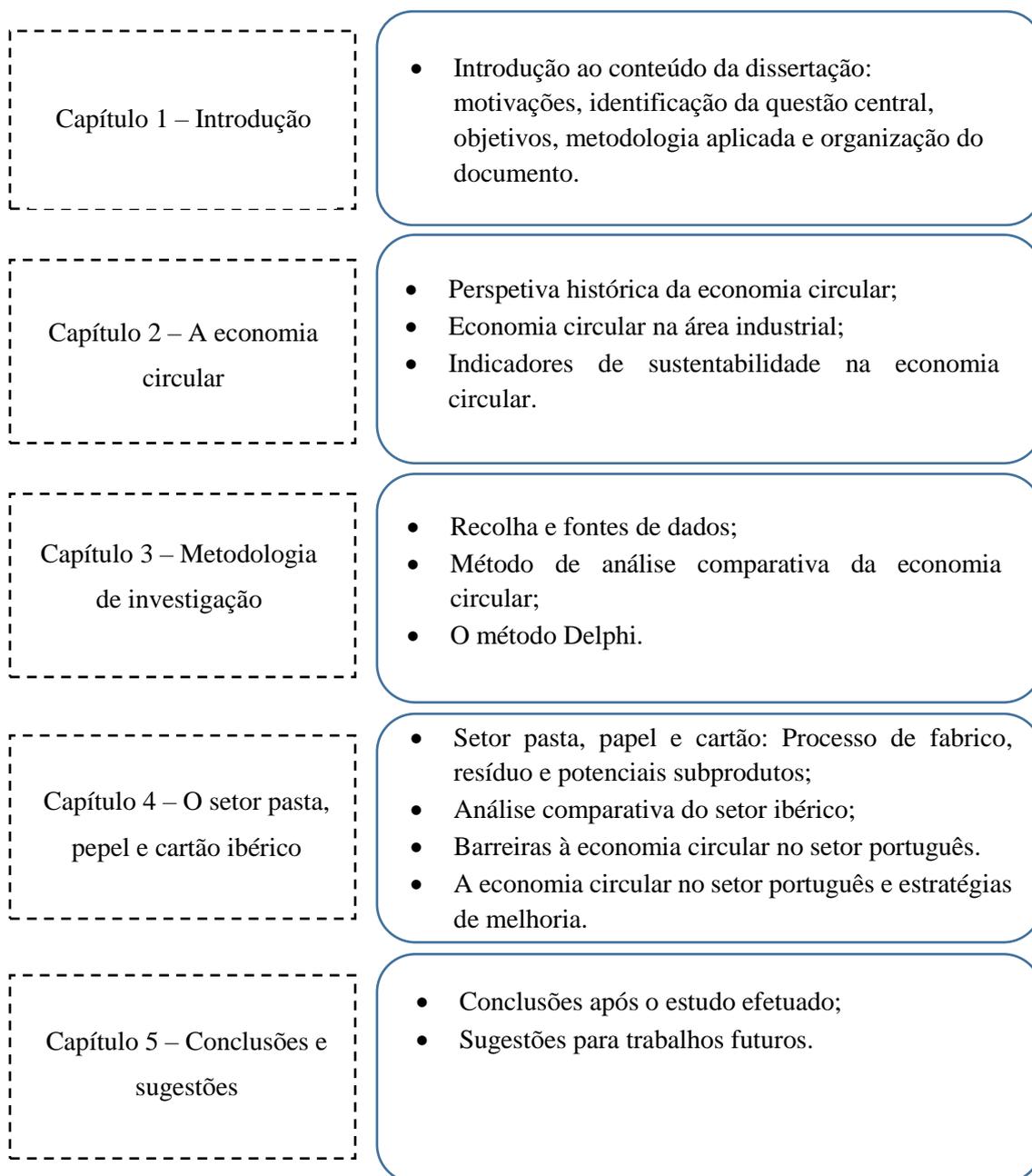


Figura 1.2: Representação da estrutura da dissertação

## **2 Revisão Bibliográfica**

Neste capítulo será abordado o tema da economia circular: O enquadramento do tema, a historia da economia circular e os conceitos que a compõe, as áreas de implementação, e a sua possível adaptação para o caso industrial.

São também apresentadas e desenvolvidas as ferramentas quantitativas que são utilizadas tipicamente numa indústria tais como a captação de água, o consumo de energia elétrica, a rejeição de efluentes líquidos, as emissões de CO<sub>2</sub>, a quantidade de resíduos sólidos que são produzidos e enviados para aterro, a utilização de biocombustíveis, a reutilização de água, e o nível de implementação da simbiose industrial.

É apresentada também uma ferramenta comparativa denominada “índice comparativo” que avalia o conjunto de indicadores possibilitando a comparação de indústrias ou setores industriais.

### **2.1 Enquadramento**

No início do século XIX, princípios da revolução industrial – quando a população mundial contava com cerca de mil milhões de habitantes (Population Reference Bureau, 2015) – possibilitou-se uma expansão da capacidade de produção. Esta expansão teve como consequência o aumento da utilização de recursos naturais e a crescente poluição do ecossistema, somada ao paradigma de que só existe desenvolvimento económico e social abdicando da qualidade ambiental (Oliveira, 2008). Hoje, com 7,3 mil milhões de habitantes, com um crescimento populacional mundial de 89 milhões por ano, e perspetivando de que se possam atingir os 9,8 mil milhões de habitantes no planeta em 2050 (Population Reference Bureau, 2015), a procura de produtos e serviços e a necessidade de recursos para produzi-los aumentará para níveis nunca antes verificados. Este cenário contribui para o crescimento da produção de resíduos (Preston, 2012) e da poluição ambiental, provocando um aumento da temperatura global devido à emissão de gases para a atmosfera (Liu & Bai, 2014).

Este contexto também é propício às incertezas económicas (Comissão Europeia, 2014) porque sendo sempre necessário o uso recursos naturais para um processo produtivo, estes permanecem limitados (Preston, 2012). A China, por exemplo, devido ao crescimento e desenvolvimento económico em aceleração, consome cerca de metade da produção de cimento mundial, 30% da produção de aço e 20% da produção de alumínio (Li, 2012). Sendo também produtora de 14 das 20 matérias primas identificadas pela Comissão Europeia como essenciais, esta causa incertezas em termos de oferta de materiais e volatilidade nos preços dessas mesmas matérias-primas enfraquecendo os setores da indústria dependente de importações (Comissão Europeia, 2014).

Em Oliveira & Tomazetti (2012) encontra-se uma citação de Bauman (2007) onde refere que um fator social a considerar é que: “*o consumo é basicamente uma característica e uma ocupação dos seres humanos como indivíduos, o consumismo é um atributo da sociedade*”, que, aliado ao desenvolvimento económico e tecnológico, está em crescimento. Este desenvolvimento acentua esta característica da sociedade que consome não apenas para a satisfação de necessidades, mas também para ocupação ou realização pessoal. Associado a todos estes elementos, os países em desenvolvimento vão ganhando os hábitos dos países desenvolvidos, gerando também aí um aumento de consumo, de produção e de utilização de produtos (Pereira, 2009). Todos estes aspetos têm gerado alertas à sociedade para a necessidade de um desenvolvimento ambientalmente sustentável; havendo cada vez mais a consciência de que uma mudança é necessária (Genovese *et al.*, 2015).

## **2.2 História da economia circular e escolas de pensamento**

O conceito de economia circular - que foi evoluindo, sendo definido e melhorado por diferentes escolas de pensamento - tem várias origens e não pode ser associado a uma única data ou autor. Começou com aplicações práticas para os processos industriais, que se desenvolveram no final dos anos 70 como resultado de estudos de um certo número de académicos, pensadores e empresários (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Baseado noutras teses, um professor de arquitetura, John T Lyle, impulsionou o conceito de *Pensamento Regenerativo*. Mang & Reed (2016) cita John T Lyle (1985) em “*Design for Human Ecosystems*” afirmando que os “*designers*” *precisam de compreender a ordem ecológica, que segue um determinado equilíbrio, e compará-la com os valores humanos, para que estes possam ter projetos duráveis, responsáveis e benéficos*. Para isso, citado em Mang & Reed (2016); Lyle, (1985) propõe princípios, métodos e técnicas que possam ser usadas para gerir a paisagem, o uso do solo, e os recursos naturais de uma forma ecológica, porque *O ser humano e a Natureza precisam de se unir outra vez depois de um longo período de afastamento*.

Em 1976, Walter Stahel, um arquiteto e analista industrial, elaborou um relatório para a Comissão Europeia, “*Jobs for tomorrow: The Potencial for Substituting Manpower for Energy*” com a co-autoria de Geneviève Reday-Mulvey que dá uma visão de uma economia em ciclos e o seu respetivo impacto na competitividade económica, na economia de recursos e resíduos, na redução e gestão de desperdícios, e no emprego, transmitindo que é possível “transformar” a energia em trabalho (Stahel, 2013). Citado em The Product-Life Institute, Biondi (2013); (Stahel & Reday-Mulvey (1981) argumenta que *três quartos de todo o consumo de energia industrial está associado à extração ou produção de materiais básicos, como o aço ou o cimento enquanto que apenas um quarto é usado na transformação desses materiais em produtos acabados. Por outro*

*lado, o trabalho necessário para a transformação de materiais é três vezes maior que a extração dos mesmos (...) um aumento de transformação, acondicionamento e reparação substitui a energia pelo trabalho (...) são necessários trabalhadores experientes nesta área (...) criará um impacto positivo no desemprego* (Stahel & Reday-Mulvey, 1981). Em 1982 Stahel, arquiteto e economista conhecido por ter fundado o conhecido termo “*cradle-to-cradle*” (C2C), funda em 1970 o *The product life institute* em Geneva e escreve um artigo científico intitulado “*The product life factor*” que ganha o Mitchell Prize em 1983 que aborda o ciclo de vida de um produto e de como a sua respetiva extensão – a “*economia de performance*” - é um ponto crucial para criar uma sociedade sustentável com base em recursos que são finitos no planeta. Também é feita uma abordagem de como as atividades de extensão do ciclo de vida de um produto – Reutilizar, Reparar, Recondicionar e Reciclar – podem trazer inúmeras oportunidades para o negócio em empresas de diferentes áreas (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

O químico alemão Michael Braungart juntamente com o arquiteto americano Bill McDonough continuaram a desenvolver o conceito e o processo de certificação *Cradle-to-Cradle* (C2C), precursor da economia circular (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Como argumenta o relatório “*Cradle to Cradle: science, innovation + leadership*” elaborado pela *McDonough Braungart Design Chemistry* (MBDC), *fazer menos mal não significa fazer melhor* (McDonough Braungart Design Chemistry, 2000), ou seja, para além de minimizar o impacto negativo de um processo, o C2C visa lutar pelo impacto positivo no uso dos resíduos do mesmo (McDonough *et al.*, 2003).

Este conceito baseia-se em três princípios fundamentais: A eliminação do conceito de resíduo, o uso de energias com fontes renováveis (principalmente a energia solar) e a gestão do uso da água que promova ecossistemas saudáveis e respeite os impactos locais (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

### **2.3 A cadeia de abastecimento tradicional: O modelo de negócio linear**

No passado, a maioria das operações necessárias à produção e disponibilização de produtos aos clientes finais era executada por uma única empresa; as cadeias produtivas eram, portanto, altamente verticalizadas. Nesta ótica as cadeias de abastecimento eram pouco complexas devido ao reduzido número de participantes (Kaplinsky & Morris, 2001).

Em Valle (2015) encontra-se uma citação de Porter (1985) que refere que, “*toda empresa é uma reunião de atividades que são executadas para projetar, produzir e entregar o seu produto. Todas estas atividades podem ser representadas fazendo-se uso de uma cadeia de valor.*”

Na Figura 2.1 é possível ver representadas as atividades de uma cadeia de valor segundo Porter.



**Figura 2.1: Cadeia de valor de Porter**

Fonte: Porter (1985)

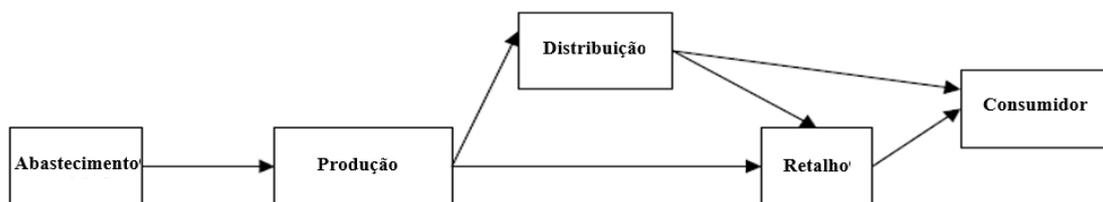
Porter (1985) refere que as atividades são os pilares da construção de vantagens competitivas e criadoras de valor, e, por outro lado, consumidoras de recursos. Por isso, é necessária uma análise das relações entre atividades da cadeia de valor para poder obter vantagem competitiva com o objetivo de conseguir melhorias no custo, na diferenciação (desenvolvendo produtos distintos e diferenciados da concorrência agregando valor na visão do consumidor) e no foco (desenvolvendo intensa especialização e estreito alinhamento com a procura dos clientes).

Com o aumento da complexidade dos produtos e do respetivo funcionamento das organizações e dos sistemas produtivos registados nas últimas décadas, estas apresentaram tendência para “horizontalizar”, ou seja, as operações necessárias à disponibilização e produção de produtos ao cliente final passaram a ser executadas por mais que uma empresa. Desta forma, os processos produtivos ficaram, na generalidade, marcados pela terceirização (a compra a terceiros de artigos que compõem o produto final) gerando cadeias de valor estendidas.

Neste contexto, o conceito de cadeia de valor definido por Porter é posto em causa não só devido à já referida terciarização como pela globalização e à consequente expansão geográfica (Kaplinsky & Morris, 2001).

Esta expansão da cadeia de valor leva a que as várias empresas se relacionem, formando cadeias logísticas mais complexas, onde têm de garantir que a cadeia, tanto das encomendas como do abastecimento de produtos funcione de forma a garantir as necessidades das empresas envolvidas. Esta cadeia tem o nome de “cadeia de abastecimento” ou *supply chain*.

De acordo com a Figura 2.2, a cadeia de abastecimento é definida geralmente como um caminho linear que inclui todas as atividades associadas à extração de matéria-prima, passando pela transformação de produto e pela utilização pelo usuário final até à sua deposição. As atividades associadas ao fluxo de informação também estão associadas à cadeia (Beamon, 1999), (Sarkis *et al.*, 2011).



**Figura 2.2: Esquema da *Supply Chain* tradicional**

Fonte: Adaptado de Beamon (1999)

Na cadeia de abastecimento tradicional, caracterizada pelo funcionamento linear – em que o cliente costuma estar no final do processo – flui uma certa quantidade de produtos, desde a sua fase inicial, à extração de recursos naturais passando pela transformação em matéria-prima, até à sua utilização e respetiva deposição em aterro (Braungart *et al.*, 2007). Este é um processo, conhecido como *cradle-to-grave* ou “berço à cova”, onde os produtos após serem consumidos pelo utilizador tornam-se resíduos, são depositos e não são usados novamente (Guide & Wassenhove, 2006).

Focando-se na otimização de encomendas de matéria-prima e na melhor distribuição de produtos aos seus clientes, a gestão da cadeia de abastecimento tornou-se um ponto essencial no desempenho das empresas. No entanto, as atividades desenvolvidas na cadeia de abastecimento geram um desperdício de recursos naturais provocando sérios impactos ambientais (Beamon, 1999).

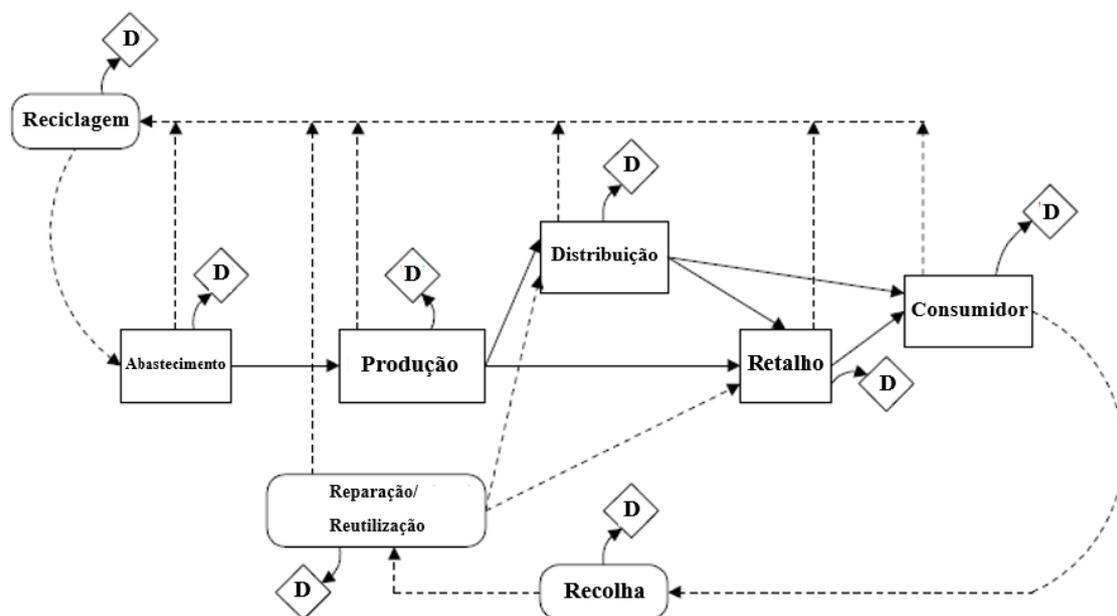
## **2.4 A gestão verde da cadeia de abastecimento: Uma porta para a economia circular**

Uma vez que o esforço ambiental na análise da cadeia de abastecimento é fundamental para a eficiência de recursos e para uma produção “eficiente”, (Subramanian *et al.*, 2009; Winkler, 2011), emerge o conceito de *green supply chain management* ou “gestão verde da cadeia de abastecimento” (González *et al.*, 2008).

Dedicando-se à sustentabilidade ambiental na cadeia de abastecimento, a *green supply chain management* pretende criar métodos que promovam a aplicação de uma economia em círculos

entre as várias indústrias envolvidas (Biondi *et al.*, 2000), com o intuito de reduzir, reutilizar, reparar e reciclar produtos e resíduos (Winkler, 2011) estendendo o ciclo de vida de um produto (Lai & Cheng, 2009).

Na Figura 2.3 está ilustrada a forma de “fechar o ciclo” na cadeia de abastecimento. As linhas contínuas representam os fluxos da cadeia de abastecimento tradicional. As linhas descontínuas, acrescentadas ao processo, representam os fluxos de materiais e energia que visam tornar a cadeia de abastecimento num circuito fechado formando a gestão verde da cadeia de abastecimento, e a letra “D” representa a deposição em todas as fases do processo. Este modelo de cadeia de abastecimento torna-se assim uma mais-valia para as empresas não só pelo ganho ambiental, mas também pelo crescimento da produtividade (Georgiadis & Besiou, 2008).



**Figura 2.3: Esquema da *Green Supply Chain***

Fonte: Beamon (1999)

Embora com princípios distintos, o conceito de gestão verde da cadeia de abastecimento promove a “economia circular” (Ying & Li-jun, 2012), complementando-se (Zhu *et al.*, 2008). O primeiro visa reduzir os impactos negativos da produção, baseando-se na reutilização e reparação de materiais, estendendo o ciclo de vida útil de um produto (Zhu *et al.*, 2008). O segundo não só visa atrasar o ciclo de vida de um produto desde a sua conceção à sua deposição (ou “*cradle-to-grave*”) (Andersen, 2007), mas luta por acabar com o conceito de “geração de resíduos” pretendendo utilizar os mesmos na produção de outros produtos ou aplicá-los de forma harmoniosa na natureza. Desta maneira, criando métodos de produção sustentáveis e fiéis ao ecossistema natural, e aplicando o conceito da economia circular de forma adequada, os materiais poderão ser utilizados ilimitadamente (Francas & Minner, 2009; Mathews & Tan, 2011).

## 2.5 A economia circular e práticas para a sua implementação

Em contraposição com a economia linear, modelo de negócio caracterizado pela “extração – uso – deposição” (Ellen MacArthur Foundation, 2013), a economia circular ganhou uma nova importância (Jawahir & Bradley, 2016).

A base do conceito de economia circular é o da criação de uma economia ecológica que esteja de acordo com o princípio dos 3 R's: *reduzir* - que supõe diminuir a quantidade de substâncias, tanto na extração como na produção e no consumo - *reutilizar*, e em *reciclar* (Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2016). Apesar de incluir o conceito dos 3 R's, esta visa criar outras condições para que os recursos e a energia fluam de maneira circular maximizando o aproveitamento de recursos naturais e minimizando a deposição de resíduos em aterro. Um exemplo é o *eco-design*, no qual os produtos são desenhados de forma a que sejam reutilizados, reduzindo assim a necessidade de extração de novos recursos naturais no início do processo produtivo (Genovese *et al.*, 2015).

Como já referido, uma das formas de pensamento que mais caracteriza a economia circular é o C2C. Este conceito foca-se no impacto positivo dos desperdícios após a sua utilização redefinindo a economia com base nas regras dos ecossistemas naturais: tudo pode ser nutriente para outra coisa. Este conceito também pode ser denominado como “eco eficácia” (Braungart *et al.*, 2007).

Esta comparação poderia ser aplicada no campo económico. Uma vez que, havendo nos ecossistemas naturais concorrência ao mesmo tempo que existe cooperação, estes acabam por facilitar a manutenção dos mesmos, promovendo a flexibilidade e adaptabilidade das espécies. Nos sistemas económicos, utilizando este modelo, garantir-se-ia uma concorrência bem alicerçada (Geng & Doberstein, 2008), trazendo benefícios a nível micro e macroeconómico, estimulando o crescimento de novos modelos de negócios e consequentemente a criação de emprego (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Os autores Yuan & Jun Bi (2006) e Heshmati, (2015), consideram que para a implementação da economia circular são necessários esforços a três distintos níveis: *A micro, meso, e a macro*. Também poderá ser aplicada em três áreas principais: na produção, no consumo e na gestão de resíduos.

Na tabela 2.1 estão expostas as práticas que poderão ser aplicadas para a implementação da economia circular segundo as áreas e os níveis já referidos.

**Tabela 2.1: Áreas de aplicação da Economia Circular**

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

Área/Nível	Micro (Entidade única)	Meso (Associação de entidades)	Macro (cidade, região, país)
<b>Produção</b>	Ecoeficiência Eco Design	Simbiose industrial Parque eco industrial	Indústria circular entre regiões
<b>Consumo</b>	Compra de produtos pouco poluentes/recicláveis	Parque ambiental	Serviço de <i>renting</i>
<b>Gestão de resíduos</b>	Sistema de reciclagem de produtos	Mercado de resíduos	Simbiose Urbana
<b>Outros apoios</b>	Políticas e estratégias; Leis		

A nível *micro*, as empresas são encorajadas a promover tanto uma produção ecoeficiente como a implementação do *eco design* (Geng *et al.*, 2010). A ecoeficiência é uma estratégia que está direcionada para a diminuição da poluição e otimização de recursos em todas as fases do processo produtivo (Hicks & Dietmar, 2007; WBSCD, 2000). Para o *eco design* são propostas às empresas que a produção dos seus produtos seja desenhada de forma a que sejam utilizados a menor quantidade de recursos possíveis (matéria-prima, água, energia, entre outras), e que os resíduos provenientes da produção desses mesmos produtos, ao poderem ser reutilizados mais tarde, possam representar um menor impacto ambiental (Yuan & Jun Bi, 2006).

A nível *meso*, as práticas para o desenvolvimento da economia circular poderão estar no desenvolvimento da simbiose industrial, e consequentemente – mas não necessariamente – da construção de parques eco industriais. Um parque eco industrial é um conjunto de empresas industriais, localizadas de forma próxima geograficamente, que procuram reforçar o desempenho social, económico e ambiental através da colaboração na gestão de recursos e matérias-primas. Ao trabalhar em conjunto, o benefício coletivo é maior do que a soma dos benefícios individuais que cada empresa iria realizar (Lowe *et al.*, 2007). O parque industrial aplica o conceito de *simbiose industrial*: um sistema no qual se procura otimizar o ciclo total de materiais, desde as matérias-primas virgens até ao produto acabado, com a colaboração sistemática de várias empresas utilizando as mesmas infraestruturas e serviços (Chertow, 2000).

A nível *macro* são propostas redes mais complexas entre indústrias e parques eco industriais. O princípio dos 3R's torna-se presente também com novas infraestruturas e com mudanças de *layout* de acordo com as características da região. Na área da gestão de resíduos, tal como na simbiose

industrial são utilizadas, mas a maior escala, a utilização de resíduos como matéria-prima entre indústrias, o uso de materiais não-poluentes, de tecnologias limpas e medidas de proteção do ecossistema (Su *et al.*, 2013).

## **2.6 A aplicação da economia circular na indústria: A ecologia industrial**

Como referido anteriormente, a economia circular, apesar de poder ser implementada em diversas áreas, está muito presente na produção industrial. Esta implementação passa pelo conceito de “ecologia industrial”, que se baseia nos seguintes princípios (Basu & Zyl, 2006; González, 2009):

- Minimização de saídas do sistema produtivo;
- Melhoria de eficiência de processos industriais, através da promoção de processos de produção que visem a máxima conservação de recursos naturais;
- Desenvolvimento de fontes de energia renováveis para a produção industrial;
- Seleção de materiais com reduzido impacto ambiental;
- Aplicação da simbiose industrial ou ecossistemas industriais;
- Balanceamento de entradas e saídas, em termos de capacidade de carga de sistemas naturais identificando formas seguras, em termos de localização, intensidade e tempo de permanência do estabelecimento industrial para a preservação de ecossistemas naturais.

Em contraposição com a indústria tradicional, a ecologia industrial, conta com os conceitos de “ecoeficiência” na indústria e “simbiose industrial”. A simbiose industrial é um conceito que promove o modelo de negócio em círculos, baseado na “extração – consumo – matéria-prima” (Guo *et al.*, 2010; Chertow *et al.*, 2008). Esta cria processos em circuito fechado, no qual os resíduos são vistos como subproduto de entrada e não como um resíduo não desejável (Chertow *et al.*, 2008).

Ao procurar “imitar” a natureza, a ecologia industrial foca-se num dos princípios básicos da economia circular que é a bio mimética, consistindo na criação de ciclos de materiais e energia, com o princípio da utilização de recursos e energia renováveis (Korhonen, 2011). Desta forma o conceito de economia circular e “ecologia industrial” estão fortemente relacionados (Guo *et al.*, 2010).

### **2.6.1 O *eco-design***

Tendo o objetivo de melhorar o desempenho ambiental dos produtos durante o ciclo de vida, durante a conceção do produto, o conceito de *eco-design* está ligado à ecologia industrial, uma

vez que é definido como *a redução dos impactos ambientais de todo o ciclo de vida através da concepção dos produtos* (Ferrão, 2009).

Para a implementação do *ecodesign* são tidos em conta critérios ambientais na fase de desenvolvimento de um produto, em conjunto com aqueles que são normalmente considerados. Na Figura 2.4 estão representados os critérios que habitualmente são considerados no *design* de um produto, como a respetiva diferenciação para o *ecodesign*.



**Figura 2.4: Critérios para a concepção de um produto**

Fonte: Associação Empresarial de Portugal (2013)

De acordo com Ferrão (2009) o *eco design* é caracterizado por alguns pontos-chave:

- Desenvolvimento de um novo conceito;
- Seleção de materiais com reduzido impacto ambiental;
- Redução do uso de materiais;
- Otimização do sistema de distribuição;
- Redução do impacto durante a utilização;
- Otimização do tempo de vida;
- Otimização do sistema de processamento em fim de vida.

## 2.6.2 A ecoeficiência

Segundo a WBCSD (*World Business Council for Sustainable Development*) – Associação mundial promotora da sustentabilidade para as empresas (*World Business Council for Sustainable Development*, 2016) – a ecoeficiência é “*uma filosofia de gestão que encoraja o mundo empresarial a procurar melhorias ambientais que potenciem, paralelamente, benefícios económicos. Concentra-se em oportunidades de negócio e permite às empresas tornarem-se mais responsáveis do ponto de vista ambiental e mais lucrativas. Incentiva a inovação e, por conseguinte, o crescimento e a competitividade.*” (WBCSD, 2000).

Algumas ações de promoção da ecoeficiência para toda a empresa que forneça produtos, serviços, ou qualquer outra ação que tenha relação com o meio-ambiente são as seguintes (WBCSD, 2000):

- Redução do consumo material;
- Redução do consumo energético;
- Redução da emissão de substâncias tóxicas;
- Aumento da reciclabilidade;
- Otimização de uso de materiais renováveis;
- Aumento da durabilidade de um produto.

Mesmo não tendo uma relação direta com o conceito fundamental da economia circular, a ecoeficiência, atrai atenções para vários objetivos da economia circular, tais como a diminuição do consumo de recursos, a redução do consumo energético, a diminuição de emissões de gases e efluentes poluentes e a redução da produção de resíduos. Nesta medida, a ecoeficiência é um grande passo para a aplicação da ecologia industrial e conseqüentemente para a economia circular (Chiu *et al.*, 2009).

Existem várias formas de cálculo para a quantificação da ecoeficiência (Oggioni *et al.*, 2011). De acordo com Kharel & Charmondusit (2008) e Park & Behera (2014) a ecoeficiência pode ser medida pelo rácio entre uma variável económica e uma variável ambiental (e.g. lucro líquido/ton.CO2).

No entanto, e como indica a equação 2.1, a ecoeficiência pode ser calculada também pelo rácio entre uma variável ambiental e uma variável económica (Park & Behera, 2014; Siitonen *et al.*, 2010). Uma vez que esta última é a forma predominante de exposição de dados ambientais nos relatórios de sustentabilidade das empresas, a equação 2.1 será o método utilizado para o cálculo de indicadores de ecoeficiência no presente trabalho.

$$\frac{\text{Variável Ambiental}}{\text{Variável Económica (produção)}} \quad \text{Equação 2.1}$$

### 2.6.3 A simbiose industrial

Com o aparecimento da ecologia industrial, o estudo e promoção da simbiose industrial foram sendo aprofundados (Bauman, 2007). O conceito de simbiose industrial baseia-se nas relações da Biologia, uma vez que o termo “simbiose” refere-se à troca de materiais e energia de uma forma coletivamente benéfica entre duas espécies. Nesta linha, o termo “simbiose industrial” aponta ao intercâmbio de necessidades entre indústrias, com o objetivo de alcançar vantagens competitivas e ambientais.

Fazendo esta analogia, são três os tipos de transações que podem ocorrer numa simbiose industrial (Chertow, 2007):

- Partilha de infraestruturas;
- Partilha das necessidades de serviços comuns;
- Trocas de subprodutos - onde uma indústria usa o desperdício de outra empresa como matéria prima.

Embora não seja uma condição necessária, a proximidade geográfica é relevante para que a simbiose industrial funcione de forma mais vantajosa (Ehrenfeld & Gertler, 1997).

## **2.7 Indicadores de sustentabilidade na avaliação da economia circular**

Para avaliar o sucesso de implementação da ecologia industrial, e consequentemente da economia circular, torna-se necessário um sistema de indicadores. Estes dão linhas orientadoras para tomadores de decisão e avaliam a eficácia das políticas implementadas numa entidade (Heshmati, 2015).

No início dos anos 90, a *International Organization for Standardization* (ISO), começaram a apresentar um conjunto de normas. As normas ISO 14000 por exemplo, reconheceram a necessidade de normalizar as ferramentas de gestão ambiental. As normas ISO 14001, por exemplo, providenciaram orientações para a implementação de um sistema de gestão industrial. Estas normas têm como objeto a avaliação do desempenho ambiental dos sistemas das organizações, enquanto que as normas ISO 14040 por exemplo, visam analisar o ciclo de vida de um produto (Associação Empresarial de Portugal, 2004).

Segundo as normas ISO 14001 e ISO 14031, a avaliação da sustentabilidade de uma empresa sugere a comparação de processos internos com indicadores ambientais (Jasch, 2000).

Os indicadores ambientais podem ser implementados e utilizados a dois níveis distintos (Thoresen, 1999):

- A nível *macro*
  - Fiscalização, controlo e regulação de empresas realizado por autoridades ambientais tanto nacionais como internacionais.
- A nível *micro*
  - Controlo interno do comportamento ambiental de processos primários ou secundários de uma empresa;
  - Melhoria contínua da empresa; análise comparativa com a concorrência; e cumprimento de objetivos.

Para avaliação de desempenho de uma empresa, as categorias a serem monitorizadas são:

- Desempenho de ciclo de vida do produto – Os impactos ambientais causados pelo uso de recursos, embalagem, transporte durante a vida do produto como por exemplo:
  - Entrada de materiais (materiais processados, reciclados, matéria prima...);
  - Produção (reciclado, subprodutos, produto principal...);
  - Resíduos (sólidos, líquidos, perigosos/não-perigosos, recicláveis, reutilizáveis...);
  - Emissões (ruídos, vibrações, radiações...).
- Desempenho ambiental das operações – Os impactos resultantes dos processos industriais como por exemplo o uso de água ou energia.
- Indicadores de condição ambiental – Qualidade da água, do ar, radiações, entre outras.

### 2.7.1 Indicadores de avaliação da ecoeficiência

Park & Behera (2014) propuseram um método de avaliação de ecoeficiência, exposto na tabela 2.2, na qual se incluem quatro variáveis: Benefício económico líquido, consumo de matéria-prima, consumo de energia e emissão de CO<sub>2</sub>.

**Tabela 2.2: Proposta de indicadores para a ecoeficiência**

Fonte: Park & Behera (2014)

<b>Avaliação da ecoeficiência</b>	
Variáveis	a. Benefício económico líquido b. Consumo de matéria-prima c. Consumo de energia e. Emissão de CO <sub>2</sub>
Propósito	Avaliar a ecoeficiência em transações industriais.
Objetivo	a. Redução consumo de matéria-prima b. Diminuição de consumo energético c. Diminuição de emissão de CO <sub>2</sub> na atmosfera
Valor mínimo e máximo	De zero a infinito
Fórmula	$\frac{\text{Variável Ambiental}}{\text{Variável Económica (produção)}}$
Fonte de dados	a. Benefício económico produzido pela empresa b. Quantidade de matéria-prima consumida pela empresa c. Quantidade de energia consumida pela empresa e. Quantidade da emissão de CO <sub>2</sub> pela empresa

### 2.7.2 Indicador de avaliação da simbiose industrial

No método de avaliação da implementação da simbiose industrial, presente na tabela 2.3, são propostas algumas variáveis tais como a legislação, a classe, o uso, o destino e o risco associados aos resíduos. Estes dados têm como finalidade uma avaliação mais precisa da implementação da simbiose industrial. Os *inputs* necessários para tal estão indicados na tabela 2.4.

Para o cálculo do Grau de Resíduo Circulante (GRC) e o Grau de Resíduo de Saída (GRS) é proposta uma avaliação em quatro critérios, que, como consta na tabela 2.4, são compostos pela legislação, a classe, o uso/tratamento, e o destino dos resíduos. Esta avaliação é feita seguindo uma escala (1,3 ou 5), e o avaliador é convidado a atribuir um peso em cada critério (de 0 a 1) segundo a importância dada pelo mesmo.

**Tabela 2.3: Proposta de indicador para a Simbiose Industrial**

Fonte: Estrutura adaptada de Neely *et al.* (1997) e conteúdo adaptado de Felicio (2013)

<b>Avaliação da simbiose industrial</b>	
Propósito	Avaliar as relações simbióticas entre indústrias de um parque industrial
Objetivo	Ampliação dos relacionamentos simbióticos
Valor mínimo e máximo	Entre 0 e Infinito
Fórmula	$ISI = \frac{QIC}{1+QIS} = \frac{\sum_{w=1}^n(QRCw*GRCw)}{1+\sum_{w=1}^n(QRSw*GRSw)}$ <p>QIC – Quantidade de impacto circulante (Exemplo: Quantidade de resíduos trocados em simbiose)            QIS – Quantidade de Impacto de Saída (Quantidade de impacto que não é trocado em simbiose)            n – Número de tipos de resíduos envolvidos            w – Tipo de resíduo            QRC – Quantidade de Resíduo Circulante *            QRS – Quantidade de Resíduo de Saída            GRC – Grau de Resíduo Circulante *            GRS – Grau de Resíduo de Saída</p>
Fonte de dados	Fluxo de resíduos e subprodutos de cada indústria Legislação sobre resíduos Classe de resíduos Problemas/riscos existentes com relação aos resíduos

\* Para o cálculo de GRC e GRS é utilizada a fórmula: GR = Avaliação do critério × Peso do critério (de 0 a 1, sendo que a soma de critérios deve dar 1).  
 O peso dos critérios bem e a sua respectiva avaliação deve ser dado pelo responsável do indicador.

**Tabela 2.4: Critérios e avaliação de resíduos**

Fonte: Felicio (2013)

<b>Critérios</b>	<b>Avaliação</b>
Legislação	1. Boas práticas
	3. Requisito Geral
	5. Requisito Legal Específico
Classe de resíduos	1. Não perigoso – Inerte
	2. Não Perigoso – Não Inerte
	5. Perigosos
Uso de resíduos	1. Tratamento do resíduo na empresa doadora e recetora
	3. Existe tratamento na empresa recetora do resíduo
	5. Não é necessário tratamento em nenhuma das empresas
Destino dos resíduos	1. Outra unidade industrial com pré-tratamento
	3. Outra unidade industrial sem pré-tratamento
	5. Aterro Industrial

## **3 Metodologia de investigação**

No capítulo 3 está descrita a metodologia necessária para o cumprimento dos principais objetivos do trabalho: 1) A comparação do setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha, através do 2) desenvolvimento de um índice comparativo, a 3) identificação das barreiras ou impedimentos existentes na implementação da economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal, e 4) a apresentação de potenciais estratégias de melhoria no contexto da economia circular no setor pasta, papel e cartão.

### **3.1 Recolha e fontes de dados**

Para obtenção dos dados necessários ao cumprimento dos objetivos do estudo, procedeu-se à recolha de dados de fontes primárias e secundárias. Os dados foram recolhidos do seguinte modo:

- 1) Recolha de dados de fontes primárias, através de entrevistas não-estruturadas com membros da CELPA de modo a obter conhecimento das características da indústria de pasta, papel e cartão;
- 2) Levantamento de dados de fontes primárias e secundárias, com a finalidade de recolher informações acerca dos consumos e emissões provenientes da indústria de pasta, papel e cartão portuguesa e espanhola;
- 3) Levantamento de dados de fontes primárias, através de informações internas da CELPA, com o objetivo de verificar as barreiras e impedimentos existentes identificados na indústria de pasta, papel e cartão;
- 4) Recolha de dados de fontes secundárias, facultados pelo documento BREF (Documento de referência das melhores técnicas disponíveis) do setor indústria de pasta, papel e cartão, que disponibiliza estratégias de melhoria que promovem uma melhor implementação da economia circular.

#### **3.1.1 Descrição de dados de fontes primárias**

Durante o período de colaboração com a CELPA foram recolhidos dados através de diversas fontes primárias:

- Recolha de dados de consumos e emissões da indústria de pasta, papel e cartão portuguesa ao longo dos últimos cinco anos. Estes dados foram facultados pela área ambiental da CELPA.
- Entrevistas não-estruturadas – foram realizadas 20 entrevistas durante o período compreendido entre abril de 2016 e fevereiro de 2017, com a finalidade de esclarecer o funcionamento da indústria de pasta, papel e cartão portuguesa, o seu posicionamento na

Europa, a relação existente entre o setor pasta, papel e cartão em Portugal e a economia circular, as potenciais aplicações de subprodutos provenientes do setor pasta, papel e cartão, as leis existentes direcionadas à classificação de um material em subproduto e alguns constrangimentos existentes na promoção da economia circular.

Estas entrevistas foram realizadas ao diretor-geral da CELPA (Eng. Carlos Vieira), à responsável pela área de ambiente e indústria e pela promoção da economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal, e à responsável do reporte dos consumos e emissões das operações industriais.

- Recolha de dados através de três entrevistas semi-estruturadas:
  - Entrevista ao diretor-geral da CELPA – Esta entrevista visa sustentar e aprofundar as possíveis causas das diferenças nos resultados dos indicadores do setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha.
  - Entrevista elaborada numa reunião com a responsável pela área de ambiente e indústria e principal promotora da economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal membro da CELPA (Eng<sup>a</sup>. Marta Souto Barreiros) – O objetivo desta entrevista foi o de recolher informações acerca das barreiras existentes para a economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal. O resultado desta entrevista serviu para a elaboração do questionário de suporte ao método Delphi para identificação das barreiras mais relevantes à implementação da economia circular.
  - Segunda entrevista com a Eng<sup>a</sup>. Marta Souto Barreiros – Esta entrevista teve como objetivo sustentar e clarificar os resultados provenientes do método Delphi. Na entrevista foram analisadas as barreiras que foram consideradas mais relevantes.

### **3.1.2 Descrição de dados de fontes secundárias**

Durante o período de elaboração do estudo foram feitas recolhas de dados de fontes secundárias, tais como:

- O levantamento de dados proveniente do boletim estatístico da ASPAPEL para o cálculo dos indicadores que compõe a economia circular. O acesso é facultado através da página *web* da mesma;
- O documento do BREF (“Conclusões das melhores técnicas disponíveis”), elaborado por um painel de especialistas indicados pelos vários estados-membros da união europeia com o objetivo de definir as melhores técnicas disponíveis (MTD) de diversos setores. Entende-se por MTD todos os procedimentos e tecnologias/equipamentos mais eficazes em termos ambientais, evitando o impacto no ambiente (consumo de energia, rejeição de

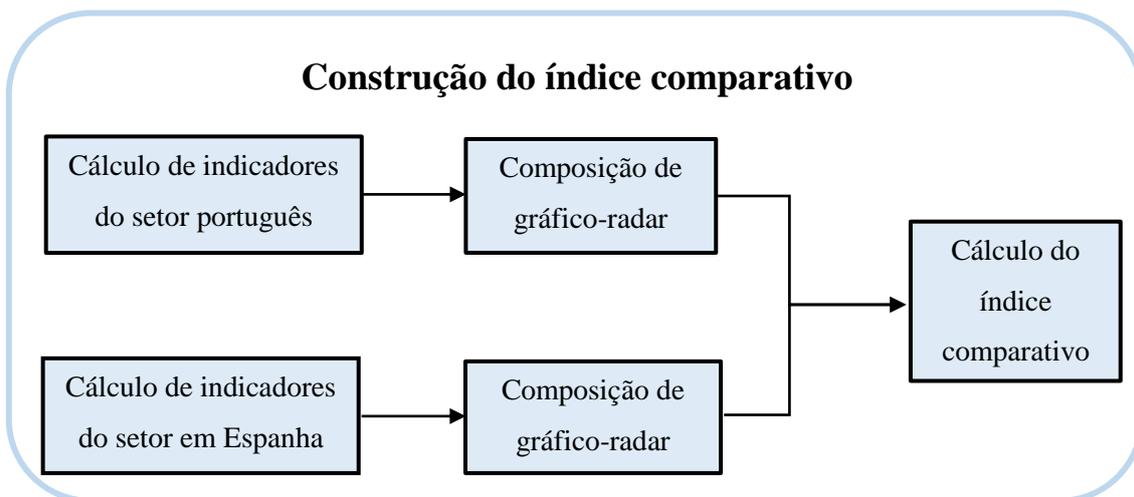
efluentes líquidos, emissões de gases, entre outras) de uma atividade industrial, que possam ser aplicadas de uma forma técnica e economicamente viável. Neste caso, foram recolhidas informações acerca das melhores técnicas disponíveis no setor pasta, papel e cartão.

### **3.2 Método de análise comparativa**

O método de análise comparativa passa pela construção de um índice comparativo ibérico para os últimos 5 anos, que é desenvolvido em três fases:

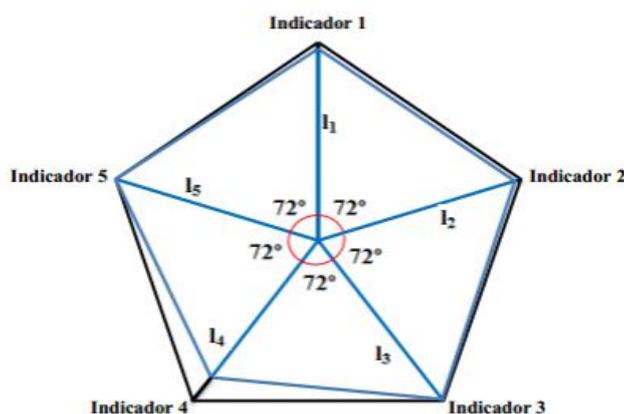
- 1) O cálculo de indicadores ambientais que estejam de acordo com as exigências da indústria de pasta, papel e cartão. Estes dividem-se em indicadores de produção (que visam avaliar o consumo de recursos e emissões provenientes da indústria de pasta, papel e cartão por tonelada produzida), e indicadores de reutilização de recursos e de resíduos (que visam avaliar o nível de reutilização dos mesmos);
- 2) Elaboração de um “gráfico-radar” com os valores normalizados de cada categoria de indicadores. Uma vez que estes valores correspondem aos vértices de um polígono irregular, é possível visualizar de uma forma qualitativa a implementação da economia circular em cada setor e compará-los;
- 3) Cálculo de um índice, denominado “índice comparativo”, composto pela área do polígono irregular obtido. Desta forma é possível comparar o nível de implementação de um setor relativamente a outro de uma forma quantitativa. Também foram apresentadas as respetivas áreas dos polígonos representativos dos dois países para verificar a sua evolução ao longo dos anos. De uma forma resumida é possível ver a metodologia de construção deste índice na Figura 3.1.

De modo a fazer uma análise comparativa da prestação ambiental de uma indústria ou setor industrial, pode proceder-se à elaboração de um gráfico-radar, constituído por um polígono cujos vértices são as diferentes categorias de indicadores que a compõe. Posteriormente torna-se necessário efetuar uma normalização, ou seja, dimensionar todas as categorias de indicadores de modo que os seus valores estejam compreendidos entre 0 e 1. Finalmente calcula-se um “índice comparativo” composto pelo rácio das áreas dos gráficos já referidos que representam os países que se pretende comparar.



**Figura 3.1: Metodologia de construção do índice comparativo**

Tipicamente, os indicadores ambientais – calculados pelo rácio entre variáveis ambientais e económicas (e.g. toneladas produzidas, resultados financeiros...) – quando são apresentados isoladamente não são suficientes para fazer uma comparação rápida e intuitiva da prestação ambiental entre setores ou empresas. Uma solução para possibilitar esta análise é a conjugação destes indicadores em gráficos tipo radar. Estes gráficos são ferramentas comparativas, uma vez que certo setor ou unidade industrial pode ser comparado a outro por meio da área do polígono gerado no gráfico formado pelas distintas categorias de indicadores que o compõe. A título de exemplo o gráfico pode ser observado na Figura 3.2.



**Figura 3.2: Exemplo de gráfico-radar**

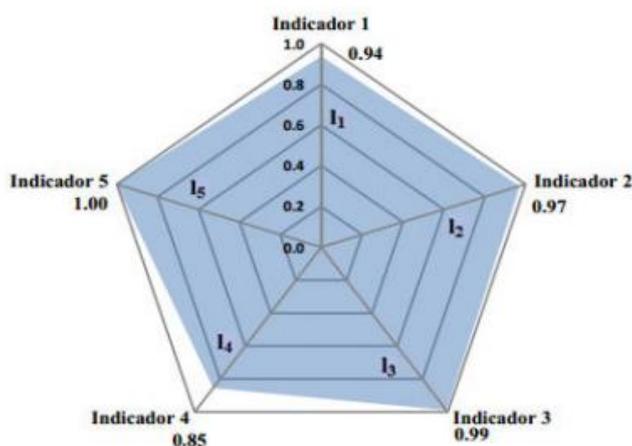
Fonte: Pereira *et al.* (2014)

O gráfico radar apresenta eixos equidistantes num mesmo centro, de modo a que todos eles tenham o mesmo ângulo. Os eixos adjacentes do gráfico juntamente com a reta formada pela distância de dois pontos formam triângulos de, pelo menos um ângulo conhecido.

Como os indicadores possuem uma unidade diferente cada um, é necessária uma normalização para que todas as categorias possam ser avaliadas conjuntamente.

De modo a obter um gráfico-radar adimensional (representado na Figura 3.3) é necessário proceder à normalização de indicadores. A normalização é obtida agrupando os resultados dos indicadores de uma mesma categoria (por exemplo indicador de rejeição de efluentes líquidos) e cada resultado é dividido pelo maior valor do indicador da mesma categoria.

O indicador normalizado de valor 1 representa o pior resultado.



**Figura 3.3: Exemplo de gráfico-radar normalizado**

Fonte: Pereira *et al.* (2014)

De seguida, para a geração de um índice comparativo ambiental, o procedimento utilizado é o do cálculo da área do polígono. Para isso é necessário calcular a área de todos os triângulos formados no gráfico radar e proceder à sua soma. De acordo com a equação 3.1, área de cada triângulo pode ser calculada segundo a “lei dos senos para o calculo da área de um triângulo”. O ângulo  $\theta$  é o ângulo formado pelos lados A e B.

$$\text{Área} = \frac{l_A * l_B}{2} * \text{sen } \theta \quad \text{Equação 3.1}$$

Após o cálculo da área de cada triângulo, e após somar as áreas dos triângulos que formam o polígono, é possível calcular o índice comparativo da implementação da economia circular. Este índice destina-se a comparar quantitativamente o desempenho de dois ou mais grupos com a mesma categoria de indicadores. Neste caso, quanto maior for a área do polígono em comparação a outro, menor será a implementação da economia circular de um setor em relação a outro. Esta quantificação, conforme apresentada na equação 3.2, é dada em percentagem.

$$IC = \left(1 - \frac{A_T}{A_{T1}}\right) * 100 \quad \text{Equação 3.2}$$

AT representa área total que é ocupada pelo polígono.

$A_T^1$  representa a área total que é ocupada pelo maior polígono (pior resultado) (Pereira *et al.*, 2014).

### 3.3 O método Delphi

Para obtenção dos dados relativos às barreiras à implementação da economia circular no setor em Portugal, utilizou-se o método Delphi.

O método Delphi pretende estudar situações de carência de dados históricos, nos quais se pretende definir novas ideias. Consultando um conjunto de peritos através de um questionário iterativo que pode circular várias vezes pela mesma equipa, o intuito é o de chegar a um consenso nas respostas e a uma conclusão sólida de um determinado estudo. Este método é baseado no uso do conhecimento e da experiência do painel escolhido, pressupondo que a opinião de um grupo retrata melhor a realidade que a opinião de apenas um indivíduo (Wright & Giovinazzo 2000).

De acordo com a Figura 3.4 o processo de formação do método Delphi conta com as seguintes fases:

- A seleção dos peritos;
- A elaboração do questionário;
- A recolha de dados junto dos peritos;
- A obtenção de consenso através do tratamento estatístico de respostas.

A seleção do painel de peritos é fundamental na concretização do método Delphi, sendo necessário que os peritos tenham conhecimento detalhado ou experiência recente na área que se pretende estudar (Chan *et al.*, 2001).

No questionário utilizado no método Delphi, é apresentada uma síntese das principais questões conhecidas de um assunto bem como as respostas que, normalmente são avaliadas numericamente. Após a recolha das respostas é feito um tratamento estatístico para determinar o consenso entre as mesmas, através de um tratamento estatístico (Schmidt, 2001). Neste caso o tratamento estatístico é realizado através do coeficiente de *Kendall* e do teste de hipóteses de *Friedmans*.

Caso o coeficiente de *Kendall* for inferior a 0,7, significa que não existe um forte consenso entre as respostas (Schmidt, 2001), sendo necessário que questionário seja enviado de novo, juntamente com a média das respostas obtidas pelos peritos na primeira ronda de questões. Os peritos são convidados a reverem a sua posição face à argumentação do grupo em cada pergunta. Caso não exista, é requerido que estes argumentem a sua posição. Para testar a significância dos resultados, para além do cálculo do coeficiente de *Kendall*, procedeu-se a um teste de hipóteses suplementar

– o teste de *Friedmans* – para verificar se existe ou não concordância entre os peritos. Caso o resultado deste teste seja satisfatório não é necessário proceder a uma nova ronda de questões (Jeste *et al.*, 2010).

De uma forma resumida as principais características de um questionário utilizando o método Delphi são (Justo, 2005):

- A consulta de opinião de um grupo de peritos acerca de um determinado tema através de questionários;
- A pretensão do questionário em alcançar um consenso;
- A iteração com informação de retorno, caso não exista um nível de consenso suficiente entre peritos;
- O anonimato dos peritos respondentes;
- A simplicidade e objetividade do questionário;
- A permissão de acréscimo de algum comentário relevante ao estudo por parte do especialista;
- O tratamento estatístico das respostas do grupo.



Figura 3.4: Processo de formação do método Delphi

Fonte: Justo (2005)



## **4 Caracterização do setor pasta, papel e cartão na península ibérica**

Este capítulo terá em foco a apresentação do setor pasta, papel e cartão nacional e o seu posicionamento na economia portuguesa, a descrição do fabrico, dos resíduos e dos eventuais subprodutos provenientes do setor pasta, papel e cartão, a apresentação dos resultados da análise comparativa do setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha e o levantamento das barreiras à implementação da economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal.

Ao conjunto de entidades relacionadas com a produção de pastas para papel e de diferentes tipos de papéis é designada por “indústria papelreira” ou setor “pasta, papel e cartão”. Esta atividade expande-se a quase todo o ciclo de vida dos produtos de papel, desde a produção de matérias-primas (produção florestal) até ao tratamento dos produtos no fim de vida, através da reciclagem ou valorização energética de resíduos.

A CELPA – Associação da Indústria Papelreira – representa os maiores proprietários e gestores da floresta portuguesa, com cerca de 100% da produção nacional de pasta de celulose de fibra virgem e 90% da produção nacional de papel e cartão. Gerem sustentavelmente cerca de 202 mil hectares de área florestal, certificados pelo PEFC® e FSC® (CELPA, 2015).

A indústria de pasta, papel e cartão portuguesa representou em 2015 (CELPA, 2015):

- Mais de 3,3 mil postos de trabalho direto e largas dezenas de milhares de postos de trabalho indiretos;
- Transforma cerca de 8,4 milhões de m<sup>3</sup> de madeira de eucalipto e de pinheiro-bravo;
- Um volume de negócios superior a 2,2 mil milhões de euros.

Relativamente ao peso do sector na economia nacional:

- O VAB do sector corresponde a 1,4 do VAB nacional;
- A produção do sector corresponde a 2,4% da produção nacional e 8% da produção dos setores da indústria, energia, água e saneamento.

Em termos nacionais os associados da CELPA exportam para mais de 140 países, representando 5% do total das exportações portuguesas de mercadorias e bens. Para além da produção de pasta, papel e cartão, os associados da CELPA estendem a sua ação em diferentes áreas:

- Gestão de áreas florestais – Esta atividade destina-se à gestão direta de áreas florestais garantindo o abastecimento de madeira e à intervenção, modernização e otimização de recursos através da implementação de tecnologias mais exigentes de intervenção na floresta;

- Produção de plantas florestais (viveiros) – Esta atividade destina-se a produzir as plantas que, após plantação darão origem à futura floresta;
- Abastecimento de madeira – O impacto que o transporte de elevados volumes de madeira de diferentes regiões leva a que a cadeia de abastecimento e transportes desta seja uma atividade importante nesta indústria;
- Produção de energia – A maior parte da energia utilizada no processo produtivo é produzida com recurso a combustíveis como a utilização de biomassa resultante da preparação de madeiras;
- Recuperação de químicos – Na produção de pasta, papel e cartão são utilizados químicos que são recuperados para novas utilizações, funcionando quase em ciclo fechado. Deste modo existem instalações no parque industrial dedicadas a esta recuperação;
- Separação e tratamento de resíduos sólidos – Apesar de esta indústria não produzir resíduos considerados perigos, produz uma quantidade considerável de resíduos. A maioria das unidades possui aterros controlados para deposição segura assim como mecanismos de tratamento, reciclagem, reutilização e valorização energética de parte dos resíduos produzidos, reduzindo a necessidade da utilização de aterros;
- Recuperação de papéis – Algumas unidades, para além da fibra virgem, utilizam fibra proveniente da reciclagem de papéis recuperados;
- Controlo de processo e de qualidade – Dada a complexidade destas instalações industriais, estão montados sistemas de amostragem e controlo nas principais fases de produção;
- Investigação e desenvolvimento – A evolução do perfil de qualidade exigido, cria a necessidade de melhorar o processo produtivo bem como o produto final. Desta forma algumas unidades recorrem a parcerias com diversas organizações desde universidades a centros de investigação de modo a garantir a qualidade exigida (CELPA, 2014).

#### **4.1 O processo de fabrico da indústria de pasta, papel e cartão**

A matéria-prima usada no fabrico de pasta é a madeira maioritariamente de *Eucalypto Globulus* que é recolhida nos complexos industriais do setor.

Após a sua receção, a madeira (rolaria) é descascada num “descascador” e, após passar por um processo de lavagem é destrocada num “tritador” em “aparas” ou “cavacos”. A casca removida é posteriormente triturada, de forma a alimentar uma caldeira de produção de vapor, que é usada na produção de eletricidade. Uma pequena parte de resíduos de madeira, os que estão contaminados com areias e pedras, são depositados num aterro controlado.

A seguir, a madeira que é destrocada, passa por um processo de crivagem. Este é um processo onde a madeira é separada. As aparas aceites seguem para a “pilha de aparas” e posteriormente para a fase de produção de pasta. As aparas de dimensões superiores às pretendidas voltam para o “destroçador”, e a madeira de dimensões inferiores seguem para o “silo de biomassa” que, posteriormente, é queimada para produção energética.

Na produção de pasta pretende-se separar o material fibroso da madeira (celulose), que é necessário para a produção de pasta, recuperando o material não-fibroso (lenhina) para aproveitamento energético. O método de produção mais utilizado no setor é o método *kraft* (forte), sendo este aquele que é aqui explicado.

A já referida separação do material fibroso e não-fibroso dá-se na fase do cozimento, no qual as aparas são enviadas para uma “tremonha”, que alimenta um digestor. Nesta fase as aparas são “impregnadas” e “cozidas” por ação química de uma solução alcalina (lixívia branca) e aquecidas e postas a pressões de 155 °C 10 bar respetivamente. No digestor as substâncias alcalinas presentes no licor branco dissolvem a lenhina que, desagregando as fibras na estrutura de madeira, forma uma pasta celulósica castanha (pasta crua). Este processo tem uma duração de cerca de 4 a 5 horas.

Depois segue para a fase de “crivagem”. Nesta etapa são removidos os nós de madeira e impurezas presentes na pasta crua. Estas impurezas podem ter vários destinos como o recozimento, a queima interna, a compostagem, entre outras.

De seguida, a pasta segue para uma fase de “lavagem”. Aquilo que é filtrado (o licor negro) segue para a caldeira de recuperação onde é utilizado para a produção de energética.

No final da lavagem, onde a pasta vem pré-branqueada, esta é submetida ao processo de branqueamento. Nesta fase são usados agentes de branqueamento como o oxigénio, peróxido de oxigénio, dióxido de cloro e soda cáustica. A pasta é branqueada com oxigénio num reator pressurizado e aquecido a mais de 80°C. Todo o processo de lavagem se processa em circuito fechado, em contra corrente, com efluente alcalino.

Por fim, depois de uma última depuração (limpeza de impurezas), a pasta segue para uma máquina de secagem, sendo depois é cortada, empilhada e armazenada (tiragem).

Na Figura 4.1, fornecida pela CELPA, estão presentes os processos necessários para a produção de pasta, os recursos empregues, bem como a finalidade dos mesmos (Navigator Company, 2015; Navigator Company, 2016).



**Figura 4.1: Processo de fabrico de pasta**

Fonte: Navigator Company (2016)

Após a produção de pasta, esta segue para a máquina de papel. Os processos decorrentes da produção de papel são os seguintes (Figura 4.2):

- Formação da folha: Nesta fase a pasta convenientemente tratada e diluída é enviada para a “caixa de chegada” que a distribui a uma velocidade constante sobre uma teia. Depois inicia-se a sua transformação numa folha contínua, por eliminação da água, pela ação combinada da gravidade com a sucção, e com o vácuo. No final desta fase a folha apresenta 80 a 85% da humidade.
- Prensagem: nesta fase, que constitui a segunda zona da máquina de papel, continua a extração de água, por meio de uma compressão da folha húmida aliada a uma ação de vácuo. Após esta fase deixa de existir a possibilidade de, por meios mecânicos, extrair mais água à folha
- Secagem: na secagem retira-se por aquecimento com cilindros de vapor, a maior parte da humidade residual da folha de papel. Quando a secagem está adiantada, é aplicada à folha uma solução de amido para melhorar as suas características de acabamento e impressão.
- Passagem pelo enrolador: A folha de papel é recolhida no enrolador sob a forma de uma bobina de grandes dimensões e com a largura da máquina, chamada Rolo Jumbo (The Navigator Company, 2015).



**Figura 4.2: Processo de fabrico de papel**

Fonte: Navigator Company (2017)

## 4.2 Produção, tratamento de resíduos e utilização de subprodutos

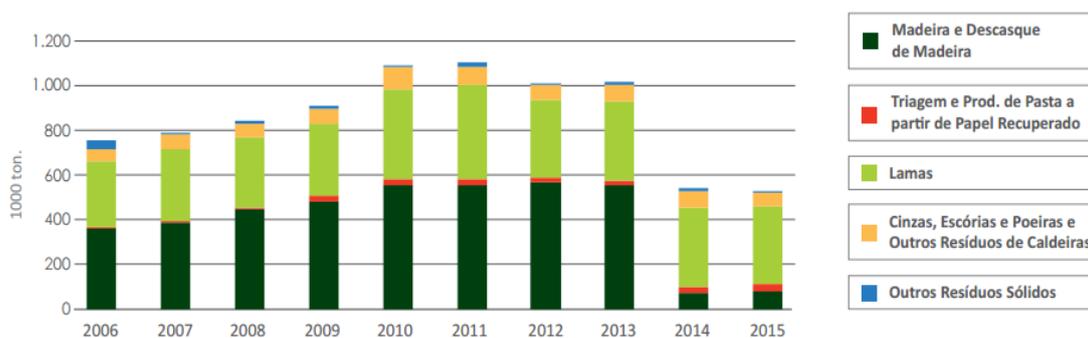
Sendo o tema dos resíduos fundamental à aplicação da economia circular, é um tema transversal que afeta todos os setores industriais, e a indústria papelreira não é exceção. Cada vez mais se tenta adotar uma gestão de resíduos sustentável e equilibrada, optando pelos princípios de minimização de resíduos, criando boas condições para a sua recolha seletiva e privilegiando sempre as técnicas de valorização face à deposição em aterro e aos outros métodos de eliminação, com vista à proteção dos vários recursos naturais como o solo, o ar e as águas subterrâneas e superficiais.

A sucessiva melhoria do desempenho ambiental no sector papelreiro deve-se a um intenso programa de investimentos iniciado há mais de 20 anos, fruto da política de proteção ambiental deste sector.

Salienta-se ainda a posição assumida pela Agência Portuguesa do Ambiente, que em estudo datado de Fevereiro de 2014 – “Conceitos de Biomassa, Bioresíduos e resíduos Biodegradáveis” – que defendeu expressamente que os resíduos da produção de pasta para papel, constituídos por materiais na sua forma natural, provenientes das indústrias de produção de pasta para papel, como é o caso dos resíduos do descasque de madeira e resíduos de madeira, não constituem resíduos, mas sim biomassa, desde que sejam utilizados na agricultura ou silvicultura ou na produção de energia.

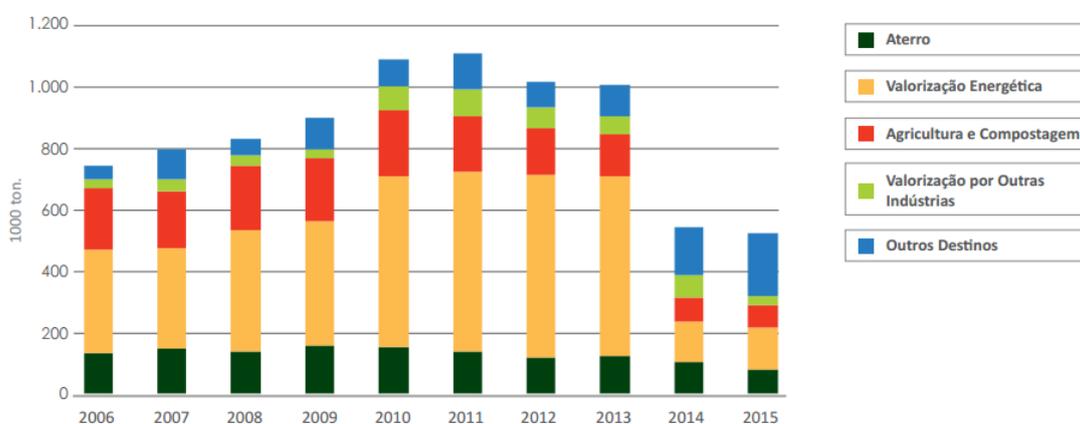
A interpretação que biomassa não é um resíduo, nos termos definidos na atual redação do Decreto-Lei nº 178/2006 e que o n.º 2 do artigo 2º deste diploma, conjugado com a Portaria nº 209/2004, de 3 de março, permite excluir a biomassa utilizada pelas empresas no processo de produção energética, do âmbito de aplicação do regime da gestão de resíduos.

A produção de resíduos sólidos resultantes do processo industrial está diretamente relacionada com o padrão de produção de pastas e papéis. Adicionalmente, são produzidos outros tipos de resíduos, como sejam as resultantes de ações de demolição e construção de edifícios que apresentam, pelo seu carácter ocasional, variações anuais significativas. A produção e o destino dos resíduos sólidos provenientes do setor pasta, papel e cartão nos últimos dez anos estão apresentados respetivamente na Figura 4.3 e 4.4.



**Figura 4.3: Quantidade de resíduos sólidos produzidos no setor pasta, papel e cartão**

Fonte: CELPA (2015)



**Figura 4.4: Destino dos sólidos produzidos no setor pasta, papel e cartão**

Fonte: CELPA (2015)

Estes resíduos podem ser processuais e não-processuais. Os resíduos processuais resultam diretamente da produção de pasta, papel e cartão, sendo considerados específicos desta atividade. É importante referir que todos estes resíduos, na indústria papeleira são considerados não-perigosos.

Os resíduos processuais típicos da indústria papelreira são (Campos, 2006):

- Serradura, aparas, fitas de aplainamento, madeira, aglomerados e folheados;
- Resíduo de descasque de madeira;
- Lamas de lixívia verde;
- Resíduos de lamas de cal;
- Lamas do tratamento local do efluente;
- Outros resíduos não especificados;
- Cinzas, escórias e poeiras de caldeiras;
- Lixiviados de aterros;
- Lamas de tratamento de águas residuais;
- Outros resíduos processuais.

Nos resíduos não-processuais, que não resultam diretamente da atividade de produção de pasta, papel e cartão estão incluídos os óleos usados, os diluentes, os solventes, embalagens de produtos perigosos, pilhas entre outros, sendo que os mais relevantes são os óleos, que se devem à manutenção das máquinas, como os “óleos hidráulicos não clorados”, “óleos hidráulicos sintéticos”, “óleos minerais não clorados de motores”, “óleos sintéticos de motores, transmissões e lubrificação”. Estes apresentam um peso importante no total de resíduos perigosos. Os óleos hidráulicos não-clorados, apresentam um peso de cerca de 18% com uma produção de aproximadamente de 80 toneladas por ano, enquanto que os óleos minerais não-clorados de motores, transmissões e lubrificação têm 14% da produção total de resíduos perigosos. De ressaltar também os resíduos correspondentes aos absorventes, materiais filtrantes, panos de limpeza ou vestuário de proteção contaminado que corresponde a cerca de 18% do peso total de resíduos perigosos produzidos. Os resíduos perigosos produzidos nas fábricas, são sujeitos a uma separação por contentores, e em seguimento são encaminhados para um armazém. Após armazenagem, faz-se a respetiva recolha e são enviados para empresas especializadas no seu tratamento e/ou valorização.

Os resíduos são tratados de diferentes formas, podendo ser eliminados ou valorizados. Os resíduos quando eliminados podem ter diferentes destinos (Campos, 2006):

- Deposição sobre o solo ou no seu interior (aterro sanitário);
- Tratamento no solo (biodegradação);
- Descarga para massas de água;
- Tratamento biológico;
- Tratamento físico-químico;
- Incineração em terra ou em mar;

- Armazenagem permanente.

E quando valorizados podem ter diferentes fins:

- Utilização como combustível ou outros meios de produção de energia;
- Recuperação/regeneração de solventes;
- Recuperação/reciclagem de metais e ligas;
- Regeneração de ácidos ou de bases;
- Compostagem;
- Utilização de resíduos como subproduto (valorização por outras indústrias).

No entanto, para valorização de resíduos por outras indústrias, é necessária a classificação destas substâncias como subproduto, entendendo-se “subproduto” como *substâncias ou objetos que resultam de um processo produtivo cujo principal objetivo não seja a sua produção (resíduo de produção), e que são utilizados diretamente, sem qualquer outro processamento, que não seja o da prática industrial normal* (Associação Portuguesa do Ambiente, 2016).

Para poderem ser valorizados por outras indústrias existem normativas nas quais a indústria deve obedecer, nomeadamente no Decreto-Lei n.º 73/ que vem estabelecer medidas na gestão de resíduos industriais.

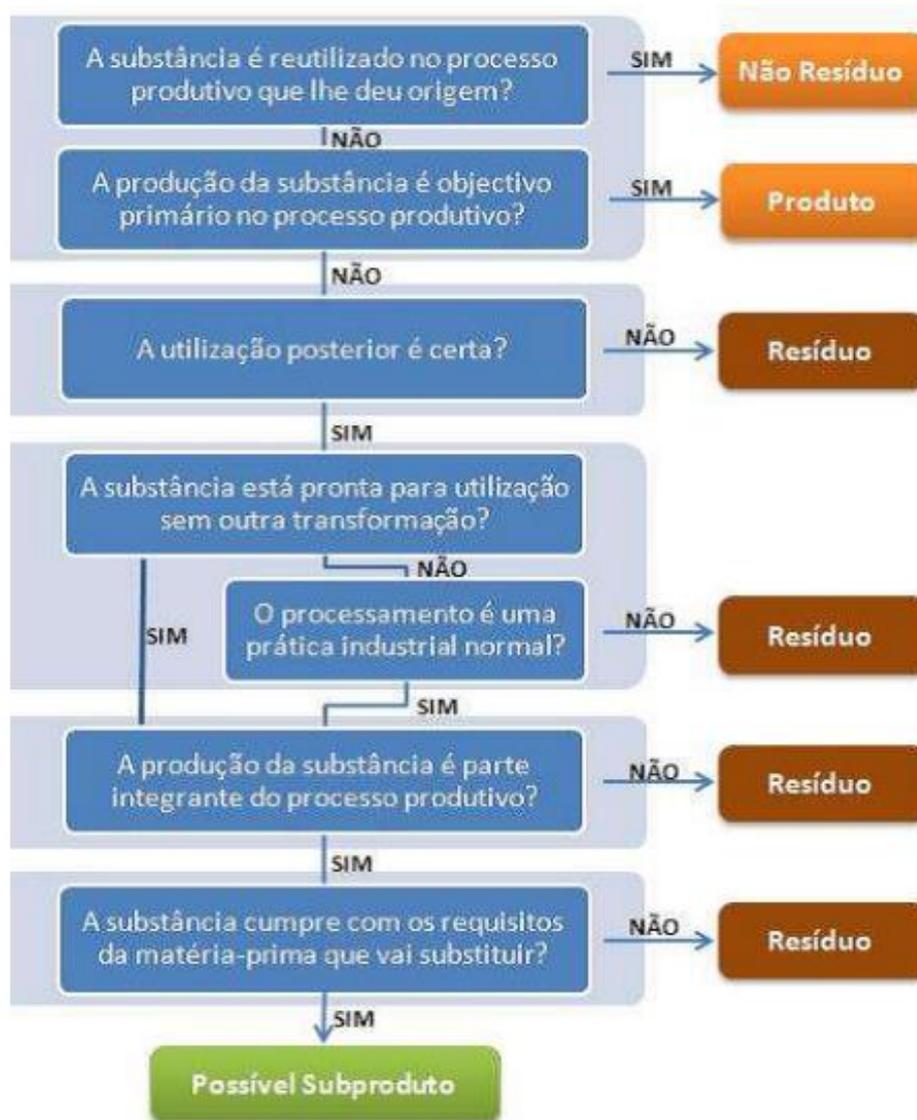
Segundo o Artigo 44.º-A deste Decreto-lei, podem ser considerados subprodutos e não resíduos “quaisquer substâncias ou objetos resultantes de um processo produtivo cujo principal objetivo não seja a sua produção” quando verificadas as condições seguintes:

- Existir a certeza de posterior utilização da substância ou objeto;
- A substância ou objeto poder ser utilizado diretamente, sem qualquer outro processamento que não seja o da prática industrial normal;
- A produção da substância ou objeto ser parte integrante de um processo produtivo;
- A substância ou objeto cumprir os requisitos relevantes como produto em matéria ambiental e de proteção da saúde e não acarretar impactos globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana, face à posterior utilização específica.

Na Figura 4.4 está representado um fluxograma do processo de classificação de um resíduo para subproduto, dando uma ideia ilustrativa daquilo que pode ser considerado resíduo, subproduto e produto pela APA (Associação Portuguesa do Ambiente).

Como já referido, o aproveitamento – como subprodutos – dos resíduos gerados nos processos de produção na própria indústria ou como matéria-prima para outras indústrias é uma ferramenta fundamental para o funcionamento da economia circular. Esta apresenta vantagens como a

eliminação da acumulação de resíduos com a consequente redução de aquisição de materiais e a sua respetiva redução de custos com a aquisição dos mesmos.



**Figura 4.5: Condições para classificação de um resíduo**

Fonte: Associação Portuguesa do Ambiente (2016)

As empresas associadas da CELPA têm trabalhado a nível técnico e científico na identificação e desenvolvimento de soluções para potenciar a classificação de resíduos processuais como subproduto para utilização dos mesmos como matéria-prima noutros processos produtivos. Na tabela 4.1 é possível observar os subprodutos provenientes da indústria de pasta, papel e cartão, que foram estudados a nível científico e que confirmam a sua possível utilização em outras indústrias.

**Tabela 4.1: Subprodutos na Indústria de Pasta, Papel e Cartão**

Fonte: CELPA (2015)

<b>Resíduos</b>	<b>Potenciais destinos</b>	<b>Tipo</b>
<b>Areias do leito fluidizado das caldeiras de biomassa</b>	Pavimentação	(A)
	Produção de argamassas	
	Produção de cimento	
<b>Cinzas das caldeiras de biomassa</b>	Produção de cimento	(A)
	Produção de adubos organominerais	(B)
	Correção de solos por aplicação direta	(B)
	Compostagem	(A)
<b>Lamas de cal</b>	Corretivo alcalinizante de solos	(A)
	Produção de cimento	(B)
	Produção de argamassas	(B)
	Produção de agregados leves	(B)
<b>Lamas biológicas</b>	Produção de argila expandida	(B)
	Compostagem	
	Valorização energética	
<b>Lamas primárias</b>	Recuperação da fibra	(B)
	Produção de fibrocimento	
	Valorização energética	
<b>Nós e incozidos</b>	Recuperação da fibra	(A)

(A) - Resíduos cujas aplicações estão industrialmente comprovadas.

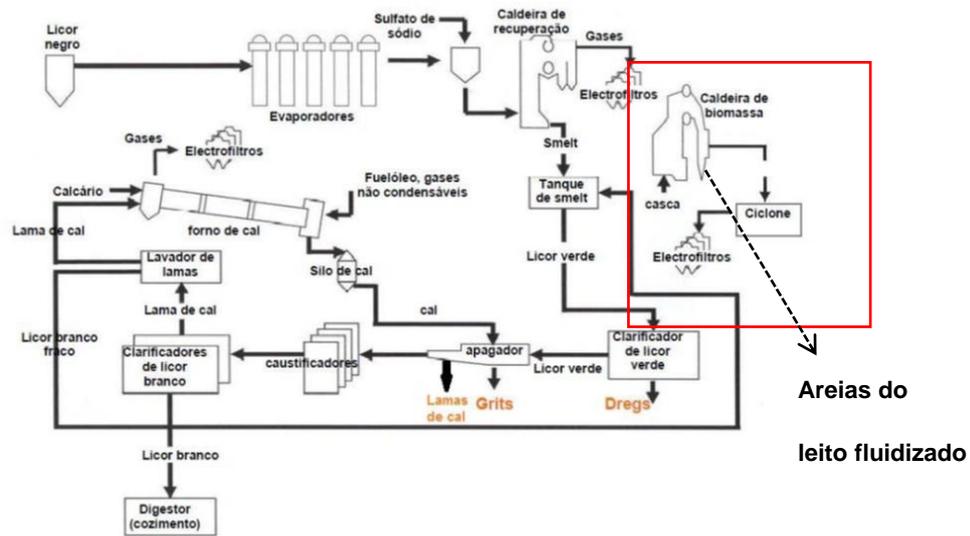
(B) - Resíduos cujo potencial de aplicação está adquirido.

A utilização de resíduos enquanto subprodutos na indústria de pasta, papel e cartão, são objeto de estudos rigorosos e de ensaios laboratoriais que comprovam que estes podem ser utilizados noutros mercados. A título de exemplo, a utilização das areias provenientes das caldeiras utilizadas para a queima de biomassa, foi estudada para a utilização na produção de argamassas. Na secção 4.2.1 será apresentado um exemplo composto por um ensaio em que se incorporam estas areias na produção de “argamassa cola C2”.

#### **4.2.1 Exemplo de utilização de um resíduo em subproduto**

As caldeiras a biomassa integram os sistemas de energia das fábricas de produção de pasta para papel, satisfazendo, complementarmente às caldeiras de recuperação, necessidades de vapor do processo e da produção de energia eléctrica, constituindo unidades fundamentais na eficiência

daqueles sistemas de energia, quer pela utilização da biomassa (casca e resíduos de madeira), quer pela sua inserção num processo com elevados consumos de calor e de energia eléctrica.



**Figura 4.6: Recuperação de químicos e energia do processo de produção de pasta**

Fonte: Barreiros (2014)

A tecnologia de queima em leito fluidizado utilizada nas caldeiras a biomassa implica a utilização de areias com um calibre adequado a fim de permitir uma fluidização do leito que garanta boas condições de combustão da biomassa. A ação de erosão a que as areias estão sujeitas obriga a uma taxa de renovação que garanta permanentemente as condições ótimas de fluidização, acarretando assim a geração externa de areias que podem constituir matéria-prima para outras aplicações ou para reutilização após acondicionamento (calibragem e lavagem). A origem destas areias está representada na Figura 4.6.

O processo proposto para a recuperação das areias de leito fluidizado, proveniente da sua utilização nas caldeiras de queima de biomassa para produção energética, inclui as seguintes fases:

- Recolha e transporte de areias de leito fluidizado;
- Lavagem e crivagem da areia;
- Transporte através da cisterna e armazenagem em silo;
- Alimentação ao misturador;
- Produção de argamassa;
- Controle de produto final;
- Embalagem;
- Expedição.

Realizou-se um ensaio realizado por Silva *et al.* (2010) em parceria com a universidade de Aveiro e com a “Weber-Cimenfix” incorporando-se 12% de areias de leito fluidizado para a produção de argamassa cimento-cola. Após um processo de crivagem para a remoção dos resíduos acima de 1250 µm e de uma lavagem do material com água, os resultados obtidos que constam em anexo na Figura D.1, na Figura D.2 e na Figura D.3 permitem constatar que é possível utilização de areias do leito fluidizado como matéria-prima na produção de argamassas sem comprometer as características do produto padrão.

Os resultados deste estudo comprovam que:

- É possível produzir uma argamassa Cimento-cola C2 com uma incorporação de 12% de areias de leito fluidizado da caldeira de biomassa. Estes resultados enquadram-se nos valores das especificações exigidas ao produto padrão.
- As areias de leito fluidizado (ALF) apresentam valores abaixo dos níveis estabelecidos pelo DL 152/2002 para que seja classificado como inerte.
- Em conformidade com o DL 78/2004, as ALF podem ser depositadas e transportadas com os mesmos meios das areias convencionais uma vez que não apresentam a presença de contaminantes no solo. As operações de crivagem e lavagem das ALF não apresentaram impactos ambientais superiores aos das areias convencionais.

De uma forma sintetizada, as areias de leito fluidizado constituem, uma matéria-prima compatível com a areia convencional utilizada para a produção de argamassas Cimento-cola C2, não representando impacto adicional para o meio ambiente, nomeadamente no que diz respeito à sua composição, alteração da qualidade da água de lavagem (Barreiros, 2014).

### **4.3 Indicadores ambientais na indústria de pasta, papel e cartão**

As tabelas 4.2 e 4.3 apresentam respetivamente os indicadores de utilização e geração de inputs ou outputs, e os indicadores de reutilização dos mesmos.

A variável ambiental pode ser composta pelo *input*, que são os recursos que são utilizados no processo produtivo, ou pelo *output*, que são as “consequências prejudiciais” que esse mesmo processo produtivo provoca no ambiente.

Os *inputs* (“utilização de recursos”) e *outputs* (“controlo da poluição”) típicos da indústria de pasta, papel e cartão que serão utilizados para o cálculo dos indicadores estão descritos na tabela 4.2.

**Tabela 4.2: Proposta de indicadores de ecoeficiência de inputs e outputs**Adaptado de: Zhou *et al.* (2013); Su *et al.* (2013)

<b>Categoria</b>	<b>Variável ambiental</b>	<b>Variável Económica</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidade de medida</b>
<b>Utilização de recursos</b>	Consumo de madeira	Pasta produzida	Consumo de madeira por tonelada de pasta produzida	m <sup>3</sup> /Ton.
	Energia	Pasta, papel e cartão produzidos	Consumo de energia por tonelada de pasta, papel e cartão produzida	GJ/Ton.
	Água	Pasta, papel e cartão produzidos	Consumo água por tonelada de pasta, papel e cartão produzida	m <sup>3</sup> /Ton.
<b>Controlo da poluição</b>	Emissão de CO2	Pasta, papel e cartão produzidos	Emissão de CO2 por tonelada de pasta, papel e cartão produzida	Ton /Ton.
	Rejeição de efluentes líquidos	Pasta, papel e cartão produzidos	Rejeição de águas residuais por tonelada de pasta, papel e cartão produzida	m <sup>3</sup> /Ton.
	Deposição de resíduos em aterro	Pasta, papel e cartão produzidos	Deposição de resíduos em aterro por tonelada de pasta, papel e cartão produzida	Kg. /Ton.

Uma mais-valia na avaliação da implementação da economia circular é a análise da reutilização destes *inputs* e *outputs*. Embora não avaliando diretamente a utilização de recursos num processo produtivo, este indica o reaproveitamento dos mesmos. Os indicadores de reutilização são relevantes porque, quanto melhor for a prestação destes, menor será a extração e utilização de novos *inputs*.

Na tabela 4.3 constam os indicadores que serão calculados de acordo com os recursos que são tipicamente reutilizados na indústria papeleira: A madeira em energia, a água e os resíduos industriais.

Como descrito na metodologia no capítulo 2, os indicadores de ecoeficiência, têm como base a produção, ou seja, são aqueles que são medidos pelo rácio de um *input* ou *output* pela produção de uma determinada indústria.

**Tabela 4.3: Proposta de indicadores de reutilização de inputs e outputs**

Adaptado de: Zhou *et al.* (2013); Su *et al.* (2013)

<b>Categoria</b>	<b>Variável ambiental</b>	<b>Indicador</b>	<b>Unidade de medida</b>
<b>Aproveitamento/Reutilização de recursos</b>	Madeira/Energia	Taxa de utilização de biocombustíveis	%
	Água	Taxa de reutilização de água	%
	Resíduos	Taxa de reutilização de resíduos sólidos	%
	Resíduos	Taxa de simbiose industrial	%

#### **4.4 Resultados dos indicadores de ecoeficiência**

No âmbito da indústria de pasta, papel e cartão, a avaliação da ecoeficiência passa pela quantificação das seguintes categorias de indicadores: Utilização de madeira, consumo energético, rejeição de efluentes líquidos, emissões de CO<sub>2</sub> e deposição de resíduos sólidos em aterro.

Os indicadores de ecoeficiência também podem ser denominados por “consumo, utilização ou emissão específica”, por exemplo, se o objetivo é fazer referência às emissões de CO<sub>2</sub> por tonelada de pasta, papel e cartão produzida, o termo técnico utilizado será “emissões específicas de CO<sub>2</sub>”. Uma vez que estes indicam a eficiência na utilização de recursos e controlam as emissões de substâncias indesejáveis, quanto menor for este indicador, melhor será a prestação do mesmo.

Os resultados da entrevista semi-estruturada realizada ao diretor-geral da CELPA (Eng. Carlos Vieira), estarão escritos em *itálico* seguidos da abreviatura do nome do respondente (C.V)

##### **4.4.1 Indicador de utilização de madeira**

No que diz respeito à utilização da principal matéria-prima na produção de pasta, o respondente afirma que *a utilização da madeira na indústria de pasta, papel e cartão é um fator decisivo na sustentabilidade ambiental da indústria de pasta, papel e cartão, mas afeta também a produtividade da mesma, uma vez que a madeira representa entre 60 a 70% dos custos variáveis*

do setor. Desta forma a baixa utilização de madeira e a eficiência da mesma é fundamental, tendo-se feito esforços significativos neste domínio (C.V).

A unidade de medida utilizada para a “utilização de madeira” é dada em  $m^3$ , no entanto a “produção de pasta” (a madeira é uma matéria-prima exclusiva para a produção de pasta) é medida em toneladas.

Para o cálculo deste indicador no setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha utilizaram-se os dados de utilização de madeira (presentes nos anexos A e B nas Figuras A.5 e B.4 respetivamente) e a produção de pasta correspondente (Figura A.1 e B.1 nos anexos A e B).

Sendo que o indicador de “consumo de madeira” dá informação acerca da madeira que é utilizada por tonelada de pasta produzida, a unidade de medida deste indicador é dada em  $m^3$ /tonelada.

Como é possível verificar na Figura 4.7, tanto no setor em Portugal como no setor pasta, papel e cartão em Espanha, não existe uma tendência significativa nas utilizações específicas de madeira nos últimos cinco anos.

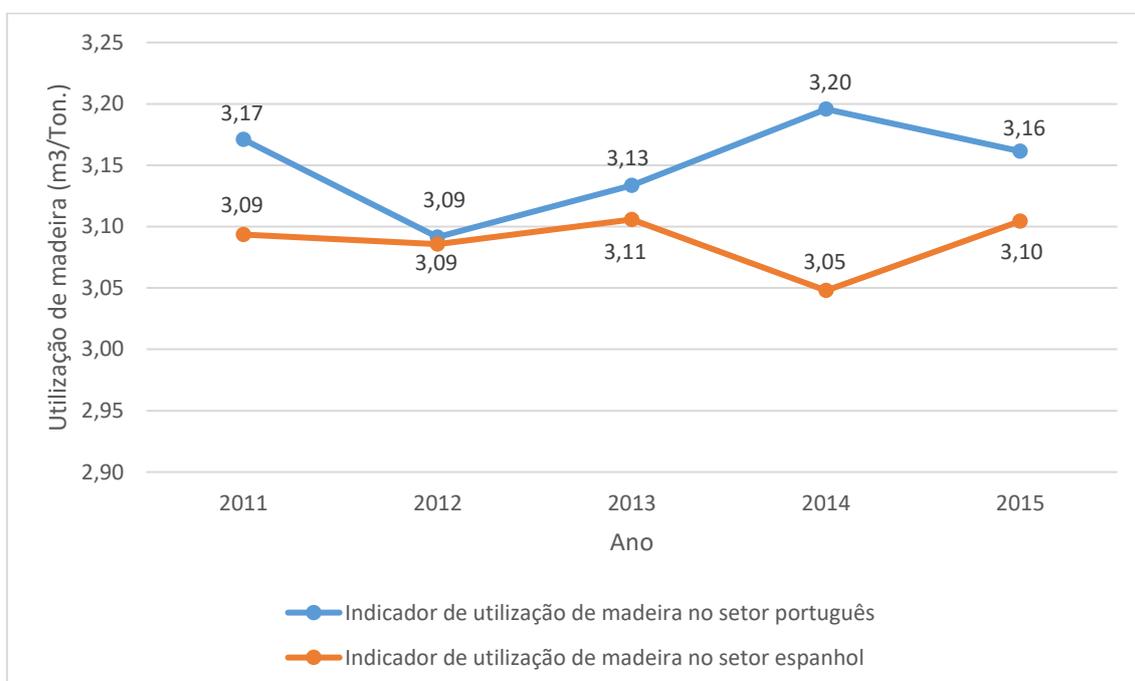
É possível constatar também, a partir do cálculo das médias dos últimos cinco anos, que o consumo específico de madeira é 2% superior àquele que é registado no setor pasta, papel e cartão em Espanha. Deste valor conclui-se que não existem diferenças significativas na utilização específica de madeira entre os dois países.

No entanto, na Figura 4.7 vê-se uma certa variação no consumo específico de madeira no setor em Portugal ao longo dos últimos cinco anos.

Apesar de não se saber detalhes acerca das diferentes tecnologias utilizadas no setor em Portugal e Espanha, existem procedimentos durante o fabrico de pasta que poderão afetar a eficiência da utilização de madeira. Alguns exemplos pesquisados são:

- A densidade da madeira, dada em Kg seca por tonelada: quanto maior for a densidade da mesma, menor é o volume de madeira necessária no processo de fabricação de pasta;
- A espécie da madeira;
- A humidade presente na madeira;
- As perdas de madeira no processo, que podem dar-se de três formas: i) na fase de descascamento, na qual, devido à quebra das toras, são gerados resíduos de madeira não especificados para a produção de pasta, ii) na fase de crivagem, na qual os cavacos de madeira não especificados são rejeitados e iii) o desperdício de madeira na fase de crivagem quando devido excesso de alimentação de cavacos na peneira, alguns cavacos bons são rejeitados (Morales *et al.*, 2011).

- Quanto a uma possível causa acerca da eficiência das matérias-primas, o respondente aponta que o *destroçamento da madeira, uma vez que, se o mesmo gerar cavacos de demasiada dimensão para aquilo que é pretendido, a impregnação (a absorção do licor alcalino pela madeira na fase de cozimento) não é tão eficaz, gerando incozidos e um desperdício de madeira. Se a madeira for destroçada gerando demasiado serrim, as perdas no armazenamento e na crivagem das estilhas (cavacos) prejudicam de igual forma o rendimento em madeira (C.V).*
- Rendimento da madeira no processo de cozimento e branqueamento: Partindo do princípio que no processo de fabrico de pasta se pretende retirar os materiais fibrosos da madeira, estes são fundamentais porque para além de existir madeira com diferentes densidades de materiais fibrosos necessários, durante o processo de cozimento e branqueamento alguns destes são desperdiçados dissolvendo-se diretamente na lignina, no licor negro e na recuperação de químicos.



**Figura 4.7: Indicadores de utilização de madeira no setor em Portugal e Espanha**

As variações nos últimos cinco anos na utilização de madeira no setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha poderão ser ocasionadas pelas necessidades de utilização de madeira importada (de fora da península ibérica). Como refere o respondente, *a madeira proveniente da península ibérica (eucalipto da espécie Globulus) é uma matéria-prima mais rentável quando utilizada para a produção de pasta. Quando as necessidades de madeira de eucalipto Globulus ultrapassam a oferta é necessário importar madeira, sobretudo da América do Sul, e uma vez que a espécie de eucalipto é diferente, é natural que seja necessário utilizar mais madeira para a mesma produção de pasta (a madeira proveniente da América do Sul, por exemplo, apresenta*

*um rendimento de cerca de 20-25% inferior àquela que é proveniente da península ibérica (Globulus) (C.V).*

#### **4.4.2 Indicador de consumo de energia elétrica**

A unidade de medida utilizada para o “consumo de energia elétrica” é dada em *Gigajoules* (GJ), no entanto a “produção de pasta, papel e cartão” é medida em toneladas.

Uma vez que o “indicador de consumo de energia elétrica” dá informação acerca da energia elétrica consumida por tonelada de pasta, papel e cartão produzida, a unidade de medida deste indicador é dada em GJ/tonelada.

Para o cálculo deste indicador no setor em Portugal e Espanha utilizaram-se os dados de consumo de energia elétrica (presentes nos anexos A e B na Figura A.7 e B.5 respetivamente) e a produção de pasta, papel e cartão correspondente (Figura A.4 e B.3 do anexo A e B).

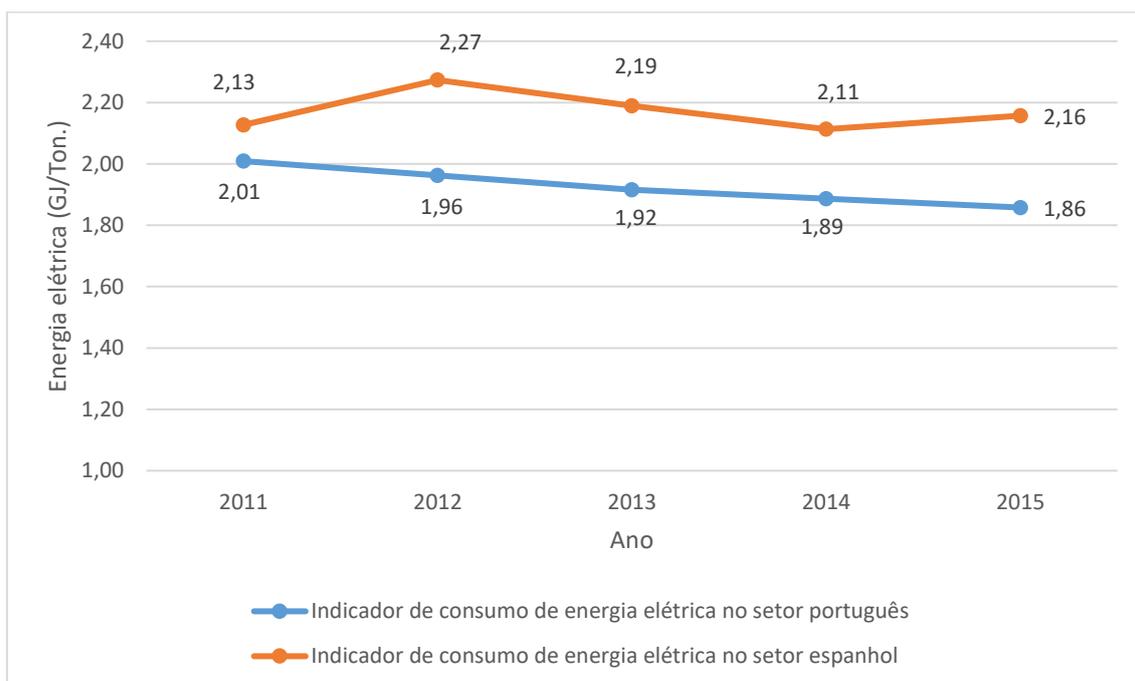
A partir dos valores ilustrados na Figura 4.8, é possível verificar que existe uma tendência de descida de cerca de 7,5% no consumo específico de energia elétrica no setor em Portugal e um consumo constante de energia elétrica no setor em Espanha.

Após o cálculo da média dos anos em estudo, também é possível constatar que o indicador de consumo de energia elétrica do setor em Espanha é superior em cerca de 11,3% àquele que é registado no setor em Portugal.

Apesar de não haver detalhes acerca das técnicas utilizadas no setor em Portugal e Espanha, existem procedimentos durante o fabrico de pasta que poderão afetar a sua eficiência energética. Estes procedimentos estão incluídos num documento elaborado por um painel especialistas indicados pelos vários estados-membros da união europeia com o objetivo de definir as melhores técnicas disponíveis (MTD). Entende-se por MTD todos os procedimentos e tecnologias/equipamentos mais eficazes em termos ambientais, evitando o impacto no ambiente (consumo de energia, rejeição de efluentes líquidos, emissões de gases, etc...) de uma atividade industrial, que possam ser aplicadas de uma forma técnica e economicamente viável. O autor deste documento é a comissão europeia.

Como já referido, apesar de não haver informação acerca das técnicas utilizadas no setor de pasta, papel e cartão português e espanhol, seguem-se alguns procedimentos a título de exemplo, que poderão estar na causa das diferenças de eficiência energética no setor (Comissão Europeia, 2014):

- Nível de eficiência energética das máquinas que compõe o processo de fabricação de pasta, papel e cartão (tratamento das fibras por refinação, utilização de equipamento com maior ou menor utilização energética).
- Nível de utilização de sistemas acionados por motores elétricos.
- Eficiência na produção de frio e calor:
  - Cogeração;
  - Recuperação de calor;
  - Frio industrial.
- Nível de eficiência no processo industrial:
  - Monitorização e controlo;
  - Tratamento de efluentes;
  - Integração de processos;
  - Isolamento térmico;
  - Manutenção de equipamentos.



**Figura 4.8: Indicadores de consumo energia elétrica no setor em Portugal e Espanha**

Como é referido na entrevista, *a causa que poderá estar por trás das diferenças no consumo de energia elétrica no setor pasta papel português e espanhol poderá estar no facto de que esses setores são estruturalmente bem distintos : grandes fábricas integradas ( recebem madeira , produzem pasta e integram-na em papel no mesmo local beneficiando dessa integração, sobretudo ao nível das energias elétrica e térmica), capacidades elevadas por unidade, ausência de pequenos operadores ineficientes , porque desapareceram entretanto da indústria , do lado Português, e um sector significativo de fábricas que utilizam papel recuperado (reciclado , fibra*

*secundária* ), sobretudo na área dos papéis de embalagem, onde os consumos não são baixos, no lado da Indústria Espanhola (C.V).

#### **4.4.3 Indicador de rejeição de efluentes líquidos**

Sendo que a medida utilizada para a “rejeição de efluentes líquidos” é dada em  $m^3$  e uma vez que o indicador de rejeição de efluentes líquidos comunica a quantidade de efluentes líquidos que são rejeitados por tonelada de pasta, papel e cartão, a unidade de medida do “indicador de rejeição de efluentes líquidos” é dada em  $m^3$ /tonelada.

Para o cálculo dos indicadores de rejeição de efluentes líquidos do setor em Portugal e Espanha é feito o rácio entre a rejeição de efluentes líquidos (presentes nos anexos A e B na Figura A.9 e B.7 respetivamente) e a produção de pasta, papel e cartão correspondente.

Uma vez que este trabalho visa fazer uma comparação entre países no mesmo setor, para o cálculo do indicador de rejeição de efluentes líquidos no setor pasta, papel e cartão em Espanha, procedeu-se a um método de cálculo baseado nas seguintes premissas:

- Devido à sua natureza, a produção de pasta leva a uma maior rejeição de efluentes líquidos que a produção de papel;
- O setor em Portugal produz mais pasta em relação ao total da produção que o setor em Espanha (por exemplo 58% e 21% respetivamente no ano 2015);
- A comparação deve ser justa pelo que, com base nas duas premissas anteriores devem utilizar-se dados que indiquem o consumo de pasta, papel e cartão de forma discriminada caso estes forem disponibilizados;
- O setor em Portugal não dispõe de dados separados para a captação de água de pasta, papel e cartão;
- O setor em Espanha dispõe de dados de forma discriminada para a produção de pasta, papel e cartão (por exemplo  $32,7 m^3$ /Ton. e  $6 m^3$ /Ton. respetivamente para o ano de 2015).

Nesta base, calculou-se o indicador de rejeição de efluentes líquidos nos últimos cinco anos do seguinte modo (eq. 3.1):

- Multiplicaram-se as rejeições específicas de efluentes líquidos respetivos à produção de pasta, papel e cartão do setor em Espanha, expostas no boletim estatístico do setor pasta, papel e cartão em Espanha (presente no anexo B na Figura B.8) pelas respetivas produções de pasta, papel e cartão do setor em Portugal. Deste modo consegue-se calcular a rejeição de efluentes líquidos agregada (admitindo que o setor em Espanha tivesse os mesmos níveis de produção que em Portugal).

- Dividiu-se o resultado pelo total da produção do setor em Portugal.

Desta forma, consegue-se fazer uma comparação dos setores pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha a nível agregado de forma mais equitativa.

$$IELSE = \frac{REpastaSE * PpastaSP + REpapelSE * PpapelSP}{PtotalSP} \quad \text{Equação 3.1}$$

IELSE – Indicador de rejeição de efluentes líquidos no setor em Espanha

REpastaSE – Rejeição de efluentes líquidos no setor em Espanha relativa à produção de pasta por tonelada de pasta produzida (m<sup>3</sup>/Ton.)

PpastaSP – Produção de pasta no setor em Portugal

REpapelSE – Rejeição de efluentes líquidos no setor em Espanha relativa à produção de papel por tonelada de pasta produzida (m<sup>3</sup>/Ton.)

PpapelSP – Produção de papel no setor em Portugal

PtotalSP – Produção total no setor pasta, papel e cartão em Portugal

Com base em cálculos a partir dos dados ilustrados na Figura 4.9 é possível concluir que existe uma tendência de descida na rejeição de efluentes líquidos por tonelada produzida no setor em Portugal de cerca de 13% nos últimos cinco anos. É possível observar também que a rejeição de efluentes líquidos é constante no setor em Espanha.

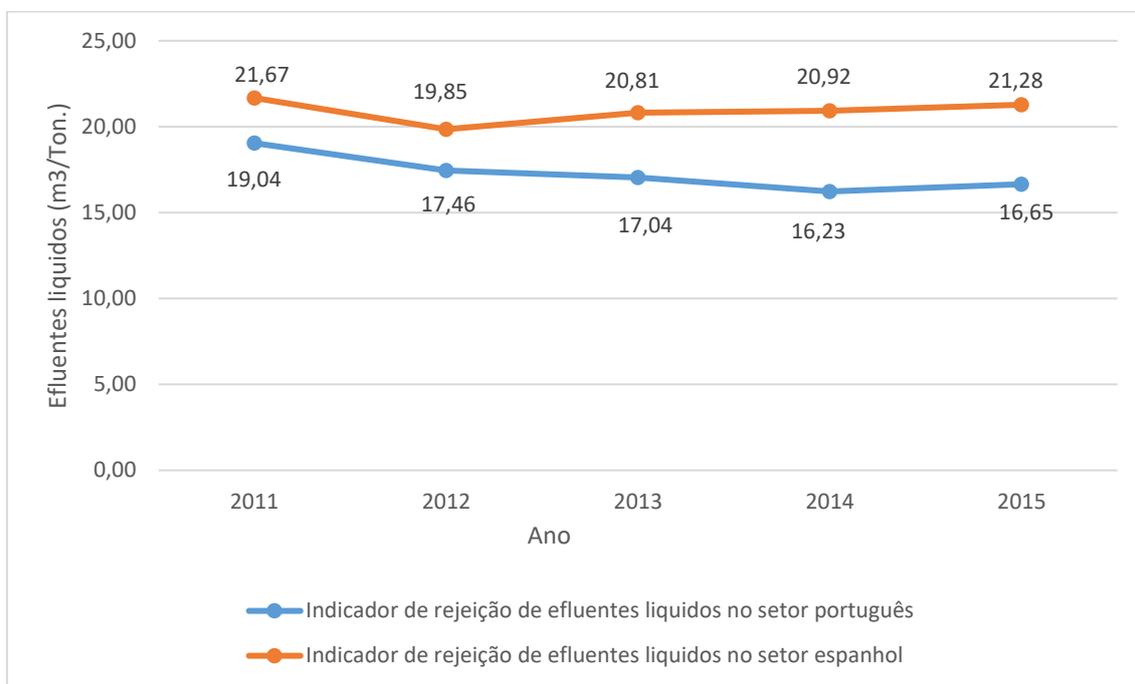
Para além disso é possível verificar, pelos cálculos da média dos últimos cinco anos, o setor em Espanha rejeita mais 17,3% de efluentes líquidos quando comparado com o setor em Portugal.

Apesar de não haver informações acerca das técnicas utilizadas em ambos os países, estas discrepâncias poderão dever-se a (Comissão Europeia, 2014):

- Eficiência nas operações industriais (descasque da madeira por exemplo);
- Nível de eficiência na lavagem da pasta;
- Tipo de branqueamento da pasta;
- Tipo de cozimento da madeira;
- Nível de separação dos circuitos de água;
- Técnicas de lavagem da pasta;
- Nível de monitorização de derrames de água.

Uma das referências que o respondente faz em entrevista é que *uma das possíveis causas que poderá estar relacionada com as diferenças nos indicadores de efluentes líquidos entre a indústria portuguesa e a espanhola é o “radicalismo” das políticas ambientais por parte dos organismos públicos portugueses em relação à interpretação das diretivas europeias, atitude que*

*poder induzir, ou obrigar, a maiores e mais exigentes investimentos no processo ou no fim de linha. (C.V).*



**Figura 4.9: Indicadores de rejeição efluentes líquidos no setor em Portugal e Espanha**

#### **4.4.4 Indicador de emissão de CO2**

A unidade de medida de “emissões de CO2” é dada em Kg. Uma vez que “indicador de emissões de CO2” avalia a emissão de gases CO2 que são emitidos por tonelada de pasta, papel e cartão produzida, a unidade de medida deste indicador é dada em Kg/tonelada.

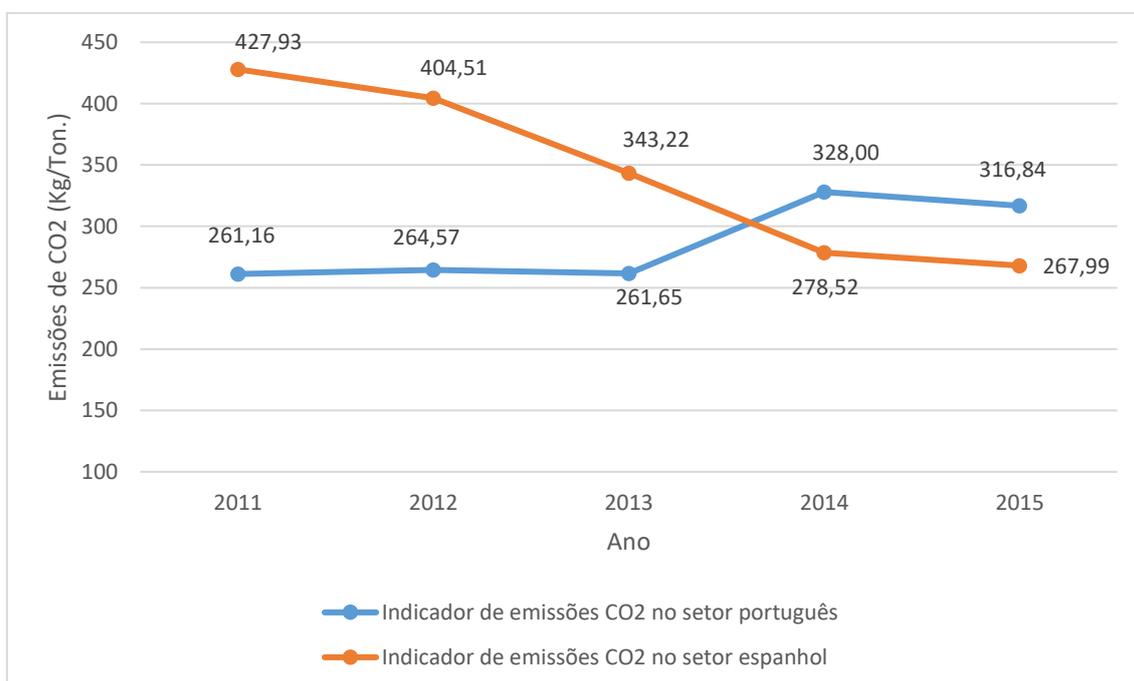
Para o cálculo dos indicadores de emissões de CO2 do setor em Portugal e Espanha é feito o rácio entre a as emissões de CO2 (presentes nos anexos A e B na Figura A.10 e B.9 respetivamente) e a produção de pasta, papel e cartão correspondente.

Como é possível calcular a partir dos dados observados na Figura 4.10, houve um acréscimo nas emissões de CO2 no setor em Portugal de 38% e um decréscimo nas emissões de CO2 de 36% no setor em Espanha nos últimos cinco anos. No entanto, em média, as emissões específicas de CO2 no setor em Espanha são 16,8% superiores às registadas no setor em Portugal.

Uma vez que a maioria das emissões são decorrentes da queima de biomassa e combustíveis fósseis para a produção de energia, estes resultados poderão vir da estratégia do setor em Espanha quanto à sua autossuficiência energética.

Apesar de não haver informações acerca das técnicas utilizadas em ambos os países, as causas das diferenças dos valores poderão estar em (Comissão Europeia, 2014):

- Práticas de utilização de energias limpas;
- Nível de controlo de emissões provenientes da combustão de biomassa e combustíveis fósseis;
- Seleção de combustíveis;
- Otimização da combustão;
- Nível de práticas de incineração de gases;
- Nível de práticas de lavagem de gases.



**Figura 4.10: Indicadores de emissões de CO2 no setor em Portugal e Espanha**

#### 4.4.5 Indicador de deposição de resíduos sólidos em aterro

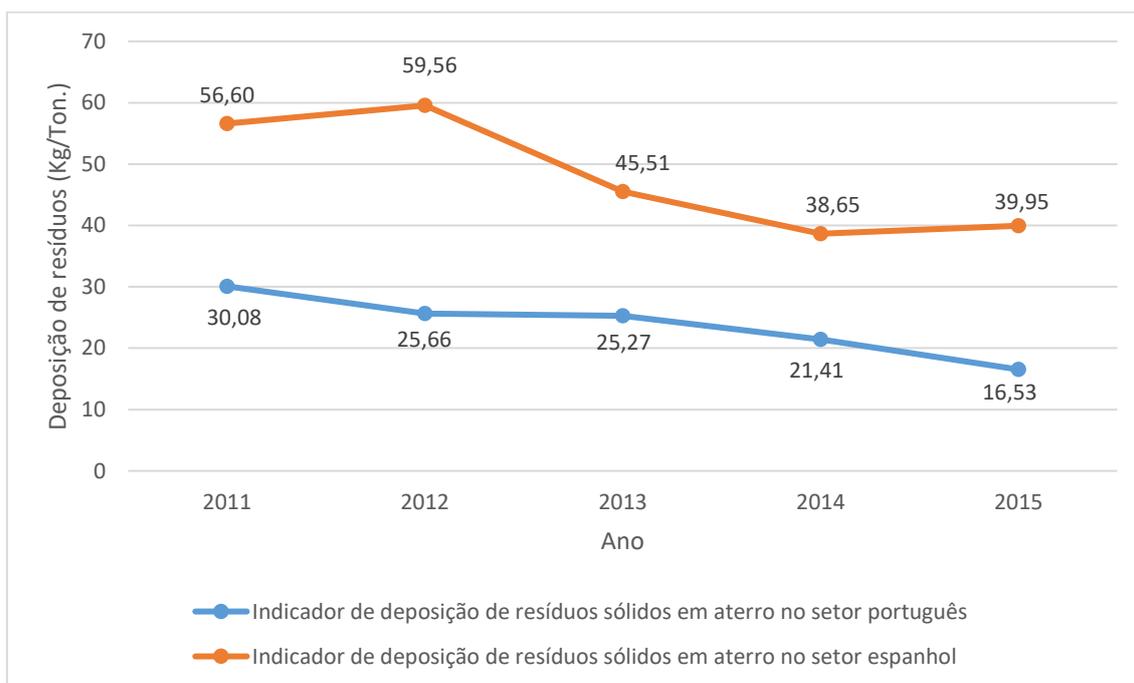
A unidade de medida de produção de resíduos sólidos que é enviada para aterro é dada em Kg. Uma vez que o indicador de deposição de resíduos sólidos em aterro dá informação acerca dos resíduos que são produzidos e depositos em aterro por tonelada de pasta, papel e cartão produzida, a unidade de medida deste indicador é dada em Kg/tonelada.

Para o cálculo destes no setor em Portugal e Espanha é feito o rácio entre a deposição respetiva total de resíduos em aterro (presentes no anexo A e B na tabela A.1 e B.1), e a produção total de pasta, papel e cartão,

Dos valores presentes na Figura 4.11 é possível calcular a existência de decréscimo na deposição de resíduos sólidos em aterro no setor em Portugal e Espanha de cerca de 45,8% e 29,4% respetivamente. No entanto, na média dos últimos cinco anos, calcula-se que o setor em Portugal teve uma deposição em aterro de resíduos sólidos cerca de 49,5% inferior ao registado no setor em Espanha.

Apesar de não haver informações acerca das técnicas utilizadas no setor em Portugal e Espanha, as diferenças dos resultados em ambos os países poderão ter as seguintes causas (Comissão Europeia, 2014):

- Nível de implementação da simbiose industrial;
- Destino dos resíduos sólidos;
- Nível de valorização de resíduos;
- Sistemas de avaliação de resíduos;
- Tipo de pré-tratamento dos resíduos antes da reutilização.



**Figura 4.11: Indicadores de deposição de resíduos sólidos no setor em Portugal e Espanha**

## **4.5 Resultados dos indicadores de reutilização e de simbiose industrial**

Os indicadores de reutilização e de simbiose industrial têm uma função diferente dos indicadores que têm por base a produção, uma vez que quantificam a reutilização de recursos e não a sua utilização. Estes indicadores também diferem na avaliação dos resultados uma vez que nestes, quanto maior for a percentagem obtida pelo rácio entre um recurso reaproveitado e o total de recurso utilizado, melhor é a prestação ambiental da mesma.

A avaliação da reutilização, no âmbito da indústria de pasta, papel e cartão, passa pela quantificação das seguintes categorias de indicadores: reutilização de água, utilização de biocombustíveis e resíduos utilizados em simbiose industrial.

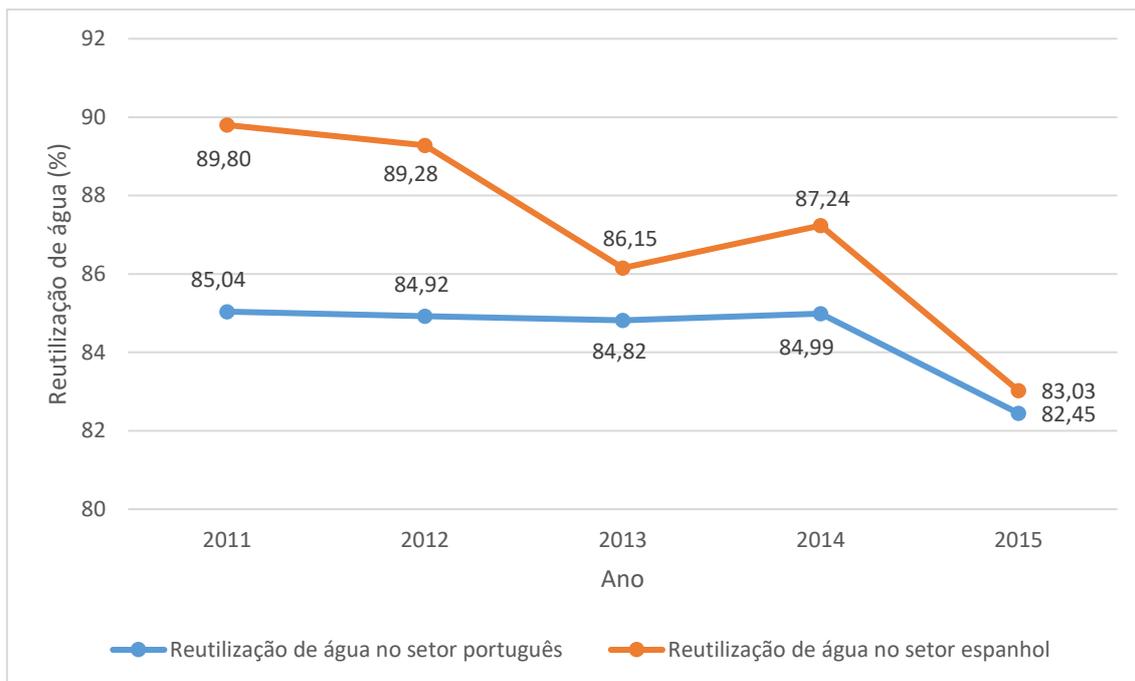
### **4.5.1 Indicador de reutilização de água**

Para o cálculo do indicador de reutilização de água é feito o rácio entre a água que é rejeitada no processo produtivo da pasta, papel e cartão (ou efluente líquido), e o volume total de água que é captada. Os dados necessários para o cálculo deste indicador estão presentes nos anexos A e B na Figura A.9 e A.8 (para o setor em Portugal) e B.7 e B.6 (para o setor em Espanha).

Da Figura 4.12 é possível retirar que existe uma tendência constante nos números da reutilização de água tanto no setor em Portugal como no espanhol, à exceção do ano de 2015, onde é possível ver uma descida acentuada em ambos os países. Também é possível retirar, após os respetivos cálculos, que o setor em Espanha reutiliza em média mais 2,66 pontos percentuais de água que aquela que é reutilizada no setor em Portugal.

Apesar de não haver informações acerca das técnicas utilizadas em ambos os países, as diferenças nos resultados dos diferentes anos e países relativos à reutilização de água poderá ter as seguintes causas (Comissão Europeia, 2014):

- Monitorização de desperdícios de água;
- Nível de recirculação da água;
- Nível de eficiência no uso da água;
- Nível de tratamento de efluentes líquidos;
- Nível de separação de água reutilizável na indústria.



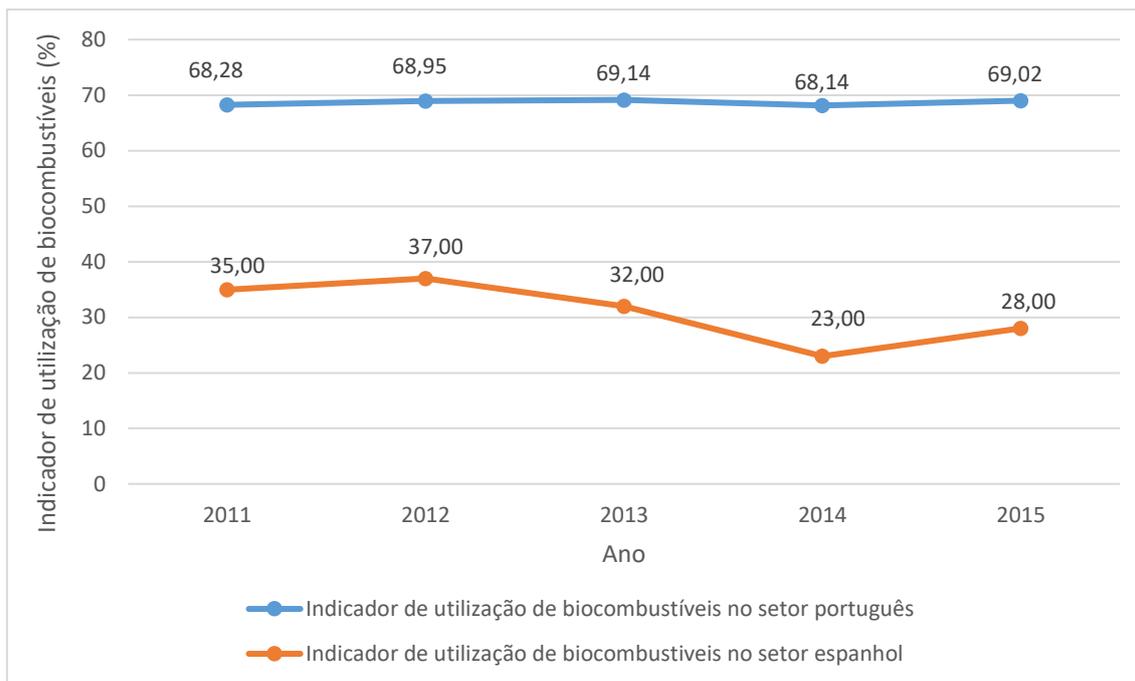
**Figura 4.12: Indicadores de reutilização de água no setor em Portugal e Espanha**

#### 4.5.2 Indicador de utilização de biocombustíveis

Como já referido anteriormente, a indústria papelreira utiliza tanto biocombustíveis como a madeira como licor negro para produção energética. Para o caso do setor em Portugal estes indicadores foram fornecidos diretamente pela CELPA. No caso do setor em Espanha estes dados foram retirados diretamente do boletim estatístico.

Como é possível constatar na Figura 4.13, o valor de utilização de biocombustíveis no setor em Portugal é consideravelmente superior ao registado no setor em Espanha, com uma diferença que chega a superar os 40 pontos percentuais em alguns anos. Também é possível verificar que a utilização de biocombustíveis é constante no setor em Portugal bem como a existência de uma tendência de decréscimo na utilização de biocombustíveis no setor em Espanha.

Estes resultados poderão advir da estratégia utilizada no setor em Espanha tais como uma menor dependência energética, ou a preferência por vender alguma da madeira não utilizada para a produção de pasta, por motivos económicos ou pela falta de infraestruturas que possibilitem uma maior utilização de biomassa para produção de energia.



**Figura 4.13: Indicadores de utilização de biocombustíveis no setor em Portugal e Espanha**

Como à proveniência da energia o respondente refere que *a causa para a diferença tão significativa dos valores da utilização de biocombustíveis no setor em Portugal e Espanha poderá dever-se ao facto de que existe um elevado numero de industrias de papel recuperado e poucas industrias de pasta, papel e cartão integradas, produzindo e utilizando fibra virgem, em Espanha. As industrias que produzem pasta a partir de rolaria com casca, por exemplo, estão em melhores condições para utilizar resíduos florestais e subaproveitamentos da sua matéria-prima para produção de energia em Centrais de Biomassa. O próprio licor resultante do cozimento da madeira é um biocombustível que se reutiliza no processo.*

*A alternativa, para quem não dispõe destes meios, é a produção de energia a partir de combustíveis fósseis como o fuel-oil ou o gás natural. (C.V).*

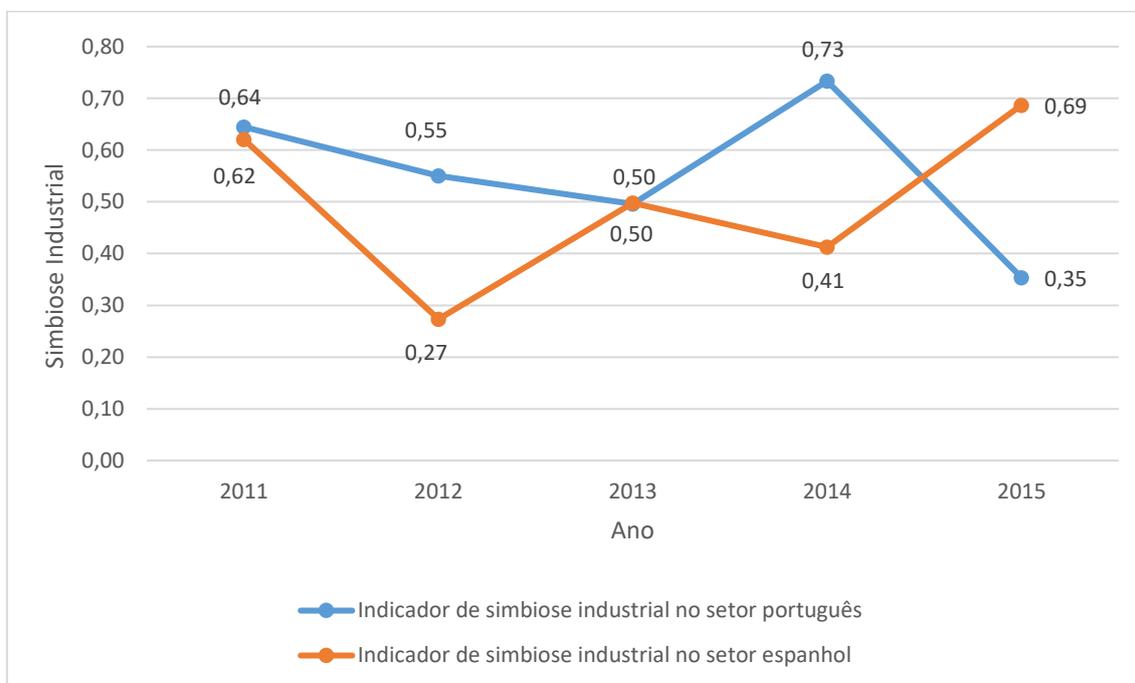
### 4.5.3 Indicador de simbiose industrial

Como referido no capítulo 2 e exposto na tabela 2.3, Neely *et al.* (1997) propõe uma fórmula para avaliar o nível de aplicação de simbiose industrial tendo em conta não só a quantidade de resíduos produzidos e os resíduos utilizados em simbiose como também a legislação destes, a classe, e os problemas/riscos existentes em relação a estes (como exposto na tabela 2.4).

Desta forma, uma vez que estes fatores não são considerados, a forma de cálculo deste indicador será feita de acordo com a equação 4.1. Estes valores podem ser vistos no anexo A e B na tabela A.1 e B.1 respetivamente.

$$ISI = \frac{QRC}{1+QRS} \quad \text{Equação 4.1}$$

Como é possível constatar na Figura 4.14, no setor em Portugal no ano de 2015 foi o ano em que houve uma menor relação simbiótica, em contraposição com o ano de 2014 que teve o melhor resultado no período compreendido entre 2011 e 2015.



**Figura 4.14: Indicador de simbiose industrial no setor em Portugal e Espanha**

## 4.6 Resultados da análise comparativa da economia circular

Conforme a metodologia no capítulo 3, foi possível analisar os indicadores elaborando um gráfico-radar para cada um dos anos estudados.

Após o cálculo da área dos mesmos, procedeu-se à comparação entre os dois países, através do cálculo do índice comparativo. Estes resultados servem de análise para a evolução da implementação da economia circular ao longo dos últimos 5 anos.

Na tabela 4.4 estão expostos os indicadores utilizados para comparação. Uma vez que é necessário identificar o “valor menos favorável” de cada categoria de indicadores para “normalização”, estes estão escritos em **negrito**.

Como é possível concluir tanto pela tabela 4.4 como pelos gráficos apresentados, o setor pasta, papel e cartão em Portugal tem uma melhor prestação ambiental em algumas categorias de indicadores e o setor em Espanha noutras.

Comparando as médias das variáveis ambientais do setor em Espanha nos últimos cinco anos, o setor em Portugal destacou-se nas seguintes categorias:

- Consumo de energia elétrica: O setor em Portugal consumiu, relativamente ao setor em Espanha em média menos 11,3% de energia elétrica por tonelada produzida. É possível verificar também que existe tendência de decréscimo de 7,5% no consumo de energia elétrica no setor em Portugal nos últimos 5 anos.
- Rejeição de efluentes líquidos: O setor em Portugal rejeitou em média menos 17,3% de efluentes líquidos por tonelada produzida quando comparado com o setor em Espanha. É possível constatar também que o setor em Portugal conta com uma tendência de decréscimo na rejeição efluentes líquidos de cerca de 13% nos últimos 5 anos.
- Emissões de CO<sub>2</sub>: O setor pasta, papel e cartão em Portugal emitiu em média menos 16,8% de CO<sub>2</sub> por tonelada produzida que o setor em Portugal. É possível verificar também que houve um crescimento de 38% na emissão de CO<sub>2</sub> no setor em Portugal e um decréscimo da mesma de 36% no setor em Espanha.
- Utilização de biocombustíveis: A percentagem de utilização de biocombustíveis no total dos combustíveis utilizados no setor em Portugal é em média de 68,7%, enquanto que no setor em Espanha este resultado situou-se nos 31%. Estes resultados refletem uma utilização de biocombustíveis no setor em Portugal consideravelmente superior, sendo esta de 37,7 pontos percentuais.
- Deposição de resíduos sólidos em aterro: em média, o setor em Portugal envia cerca de 49,5% menos resíduos para aterro por tonelada produzida que o setor em Espanha.
- Simbiose Industrial: em média o indicador de simbiose industrial no setor em Portugal situou-se nos 0,45, o que compara com 0,56 no setor em Espanha. Estes resultados refletem uma implementação da simbiose industrial 19,13% superior no setor em Portugal.

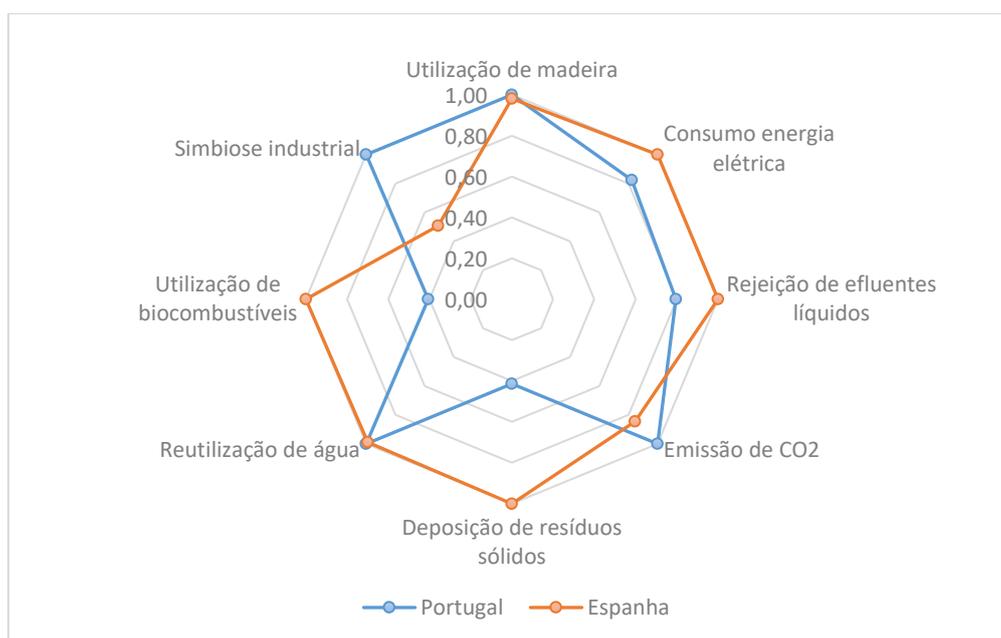
O setor em Espanha conta com uma melhor prestação ambiental nas seguintes categorias de indicadores

- Utilização de madeira: O setor pasta, papel e cartão em Espanha consome em média menos 2 % de madeira que o setor em Portugal.
- Reutilização de água: em média o indicador de reutilização de água no setor em Portugal situou-se nos 84,44 % enquanto o mesmo no setor em Espanha situou-se nos 87,10% Estes resultados refletem uma reutilização de água 2,66 pontos percentuais superior no setor em Portugal.

Conforme apresentado na revisão bibliográfica na secção 3.2, torna-se necessário converter os valores indicados em valores normalizados. A metodologia consiste em dimensionar cada

categoria de indicadores, convertendo-os em valores compreendidos entre 0 e 1. No caso dos indicadores cuja base é a produção, o método de normalização passa por fazer o rácio entre cada resultado pelo valor menos favorável de cada categoria. Desta forma, quanto menor a área do gráfico radar, melhor a ecoeficiência do setor.

Para normalizar os valores dos indicadores de reutilização e de simbiose é necessário dividir o valor menos favorável por cada um dos indicadores de cada categoria. Após normalização, o conjunto das categorias dos indicadores apresentados é reunido num gráfico radar. Na Figura 4.15 é apresentado o gráfico-radar relativo ao último ano, os restantes estão ilustrados em anexo na Figura C.1, C.2, C.3 e C.4.



**Figura 4.15: Representação da economia circular no setor em Portugal e Espanha em 2015**

A tabela 4.5 apresenta a área dos polígonos representativos da economia circular do setor em Portugal e Espanha no ano 2015.

De seguida, de acordo com a equação 2.4 descrita na secção 3.2, foi calculado o índice comparativo, que em termos ilustrativos indica que a área do polígono representante do setor pasta, papel e cartão em Espanha é 26% superior à área do polígono representativo do setor em Portugal.

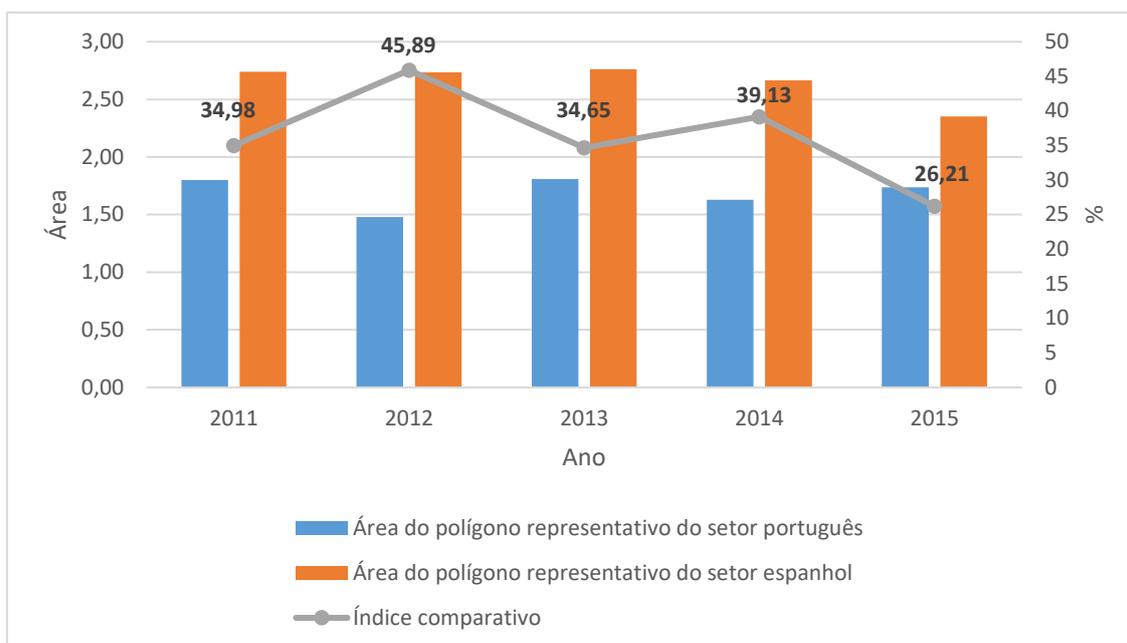
Uma vez que este resultado representa o nível de implementação da economia circular de um setor em relação a outro, é possível concluir que o setor em Portugal tem uma implementação 26,16% superior àquela que é registada no setor em Espanha

**Tabela 4.4: Indicadores do setor em Portugal e Espanha**

Ano	2011		2012		2013		2014		2015	
	PT	ES	PT	ES	PT	ES	PT	ES	PT	ES
Utilização de madeira (m <sup>3</sup> /Ton.)	<b>3,17</b>	3,09	3,09	3,09	<b>3,13</b>	3,11	<b>3,20</b>	3,05	<b>3,16</b>	3,10
Consumo de energia elétrica (GJ/Ton.)	2,01	<b>2,13</b>	1,96	<b>2,27</b>	1,92	<b>2,19</b>	1,89	<b>2,1</b>	1,86	<b>2,26</b>
Rejeição de efluentes líquidos (m <sup>3</sup> /Ton.)	19,04	<b>21,67</b>	17,46	<b>19,85</b>	17,04	<b>20,81</b>	16,23	<b>20,55</b>	16,65	<b>20,93</b>
Emissão de CO2 (Kg/Ton.)	261,16	<b>427,93</b>	264,57	<b>404,51</b>	261,64	<b>343,22</b>	<b>328,00</b>	278,52	<b>316,84</b>	267,99
Deposição de resíduos sólidos em aterro (Kg/Ton.)	30,08	<b>59,60</b>	25,66	<b>59,56</b>	25,27	<b>45,51</b>	21,41	<b>38,65</b>	16,53	<b>39,95</b>
Reutilização de água (%)	<b>85,04</b>	89,80	<b>84,92</b>	89,28	<b>84,82</b>	86,15	<b>84,99</b>	87,24	<b>82,45</b>	83,32
Utilização de biocombustíveis (%)	68,28	<b>35,00</b>	68,95	<b>37,00</b>	69,14	<b>32,00</b>	68,14	<b>23,00</b>	69,02	<b>28,00</b>
Simbiose industrial	0,64	<b>0,62</b>	0,55	<b>0,27</b>	0,50	0,50	0,73	<b>0,41</b>	<b>0,35</b>	0,69

**Tabela 4.5: Cálculo do índice comparativo relativo a 2015**

Produto entre indicadores	Portugal	Espanha
Utilização de madeira × Consumo energia elétrica	0,82	0,98
Consumo de energia elétrica × Rejeição de efluente líquido	0,65	1,00
Rejeição de efluente líquido × Emissões de CO2	0,78	0,85
Emissões de CO2 × Deposição de resíduos sólidos	0,41	0,85
Deposição de resíduos sólidos × Reutilização de água	0,41	0,99
Reutilização de água × Utilização de biocombustíveis	0,41	0,99
Utilização de biocombustíveis × Simbiose industrial	0,41	0,51
Simbiose industrial × Utilização de madeira	1,00	0,50
<b>Soma dos produtos</b>	<b>4,91</b>	<b>6,65</b>
$1/2 \times \text{sen}(2\pi/8)$	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>
<b>Área do polígono</b>	<b>1,74</b>	<b>2,35</b>
<b>Índice comparativo</b>	-	<b>26,21%</b>



**Figura 4.16: Índices comparativos dos anos correspondentes a 2011-2015**

Está representada na Figura 4.16 a área dos polígonos que representam a implementação da economia circular nos últimos cinco anos, assim como o índice comparativo, calculado pelo rácio entre áreas dos polígonos dos respetivos países.

Com base na Figura 4.16 pode concluir-se o seguinte:

- A área do polígono representativo da implementação da economia circular do setor em Portugal é menor em relação ao polígono representativo do setor em Espanha em todos os anos estudados.
- Logo – e como é possível constatar pelo índice comparativo - em todos os anos estudados o setor pasta, papel e cartão em Portugal tem uma implementação da economia circular superior em comparação com o setor em Espanha.
- Apesar dos sucessivos resultados positivos do setor em Portugal em relação ao setor em Espanha, no último ano houve uma descida no índice comparativo motivado pela melhoria na implementação da economia circular no setor em Espanha (como se constata pelo decréscimo da área do polígono representativo da implementação da economia circular no ano 2015 relativamente aos anos anteriores).

## **4.7 Análise de barreiras à economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal**

Como descrito na metodologia e nos objetivos do trabalho, foi desenvolvido um estudo das barreiras existentes e a sua relevância no setor pasta, papel e cartão em Portugal no âmbito da economia circular. Para tal foi utilizado o método Delphi

### **4.7.1 Estrutura do questionário**

O conteúdo do questionário está dividido em áreas: 4 barreiras são de carácter “legal e regulatório”, 5 barreiras são do âmbito “institucional e organizacional”, 7 barreiras são “económicas e de negócios”, 3 “barreiras sociais/percepção pública” e 4 barreiras de carácter “tecnológico e de conhecimento”. Pede-se que os participantes avaliem as respetivas barreiras de acordo com a sua relevância numa escala de 1 a 5.

### **4.7.2 Painel**

O sucesso do método Delphi depende da escolha do painel de peritos. O painel selecionado é composto por investigadores e profissionais. Para escolha dos investigadores é requisito que cada um: i) esteja inserido recentemente na participação de um tema relacionado com a economia circular ou com o estudo das práticas ambientalmente favoráveis numa indústria ou ii) tenha conhecimento aprofundado da temática da economia circular bem como os problemas na sua implementação. Para a seleção dos profissionais é necessário que tenham: i) experiência profissional no setor pasta, papel e cartão em Portugal e/ou ii) relação com a problemática da sustentabilidade ambiental no setor pasta, papel e cartão em Portugal.

Foram convidados onze especialistas, dos quais três são membros da CELPA, quatro são representantes das associadas da CELPA e quatro investigadores.

O perfil de cada especialista é apreciado segundo (tabela 4.6):

- A área de investigação (caso o respondente seja um investigador);
- Setor industrial (caso seja um profissional);
- O tempo de experiência na investigação das práticas ambientalmente favoráveis na indústria (no caso do investigador);
- O tempo de permanência no setor pasta, papel e cartão (no caso do profissional).

**Tabela 4.6: Painel de respondentes do questionário utilizando o método Delphi**

Perito	Área de investigação/Setor	Tempo de experiência	Nº empregados na empresa
Respondente 1	Gestão da cadeia de abastecimento, green, sustentabilidade	Mais de 10 anos	-
Respondente 2	Gestão da cadeia de abastecimento, green, sustentabilidade	Mais de 10 anos	-
Respondente 3	Sustentabilidade, Sistemas de energia sustentáveis, sistemas de gestão	Mais de 10 anos	-
Respondente 4	Economia circular, estagiário da CELPA	1 ano	9
Respondente 5	Departamento ambiental do setor pasta, papel e cartão em Portugal	Mais de 15 anos	690
Respondente 6	Departamento de sustentabilidade ambiental do setor pasta, papel e cartão em Portugal	Mais de 20 anos	319
Respondente 7	Departamento de ambiente e indústria	Mais de 20 anos	9
Respondente 8	Departamento de sustentabilidade	Mais de 20 anos	2660
Respondente 9	Diretor-geral da CELPA	Mais de 30 anos	9
Respondente 10	Departamento de energia e alterações climáticas	Mais de 10 anos	9
Respondente 11	Departamento de ambiente	Mais de 15 anos	567

### 4.7.3 Análise de dados

Na primeira ronda do questionário, enviado por e-mail, os peritos foram convidados a avaliar numa escala de 1 a 5 a relevância das barreiras existentes à implementação da economia circular. Também foi proposto que, caso os respondentes tivessem conhecimento de barreiras adicionais, estas fossem acrescentadas ao questionário num campo próprio (ver anexo).

Após a receção das respostas da primeira ronda, de modo a testar a consistência das respostas dos respondentes, o coeficiente de concordância de *Kendall* ( $W$ ). Este coeficiente tem com o objetivo estudar o nível de concordância das respostas vindas de vários avaliadores, variando de “0” – indicando que não existe nenhuma concordância entre avaliadores – e “+1”, indicando que existe uma plena concordância entre avaliadores (Israel, 2009). Como referido no capítulo 3, um valor do coeficiente de *Kendall* igual ou superior a 0,7 permite concluir que existe uma forte concordância entre respondentes (Schmidt, 2001).

**Tabela 4.7: Barreiras à economia circular**

Barreiras à Economia Circular	Estatística			
	Primeira ronda		Segunda ronda	
	Rank médio	Ranking	Rank médio	Ranking
Falta de regulamentação de flexibilização e promoção do intercâmbio de subprodutos	16,09	2	19,55	1
Demora no processo de classificação de substâncias como subprodutos	17,09	1	18,59	2
Percepção de que o produto final proveniente da utilização de subprodutos será de qualidade inferior a um produto que use matéria prima virgem	13,23	9	16,77	3
Falta de parcerias entre empresas e instituições de investigação para o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e equipamentos	15,00	3	16,77	3
Falta de concordância das características dos subprodutos com o estabelecido legalmente	13,77	5	15,41	4
Lacunas na cooperação entre parceiros da simbiose industrial	14,64	4	15,09	5
Falta de tecnologia, materiais e processos de suporte à re-utilização de subprodutos	12,23	13	14,64	6
Incerteza na taxa de retorno do investimento em projetos de simbiose industrial	13,77	5	14,36	7
Baixo custo de aquisição de recursos naturais e matérias primas (inferior ao do material reciclado)	13,64	8	14,18	8
Lacunas na estrutura organizacional para o suporte à implementação da simbiose industrial	13,82	6	14,09	9
Elevado custo de transporte entre parceiros (devido à sua localização geográfica)	14,05	5	13,45	10
Incerteza nos benefícios económicos provenientes da prática da simbiose industrial	12,41	12	12,50	11
Lacunas no intercâmbio de informação entre cliente/fornecedor	12,55	11	11,82	12
Desconexão entre a cultura empresarial e a prática da simbiose industrial	12,77	10	11,55	13
Desconfiança das entidades envolvidas quanto aos reais benefícios ambientais provenientes da simbiose industrial	11,95	14	10,73	14
Falta de pressão pública para a implementação de iniciativas da economia circular (falta de conhecimento e de preocupação)	10,55	15	10,45	15
Incerteza no mercado de subprodutos	10,50	16	8,82	16
Aspetos sócios culturais em Portugal não propícios à atividade de recuperação de subprodutos	8,55	20	7,77	17
Elevados custos de licenciamento de subprodutos	9,05	18	7,23	18
Falta de envolvimento empresarial nas questões relacionadas com o ambiente	10,36	17	6,05	19
Instalações adequadas para o processamento de “práticas industriais normais” insuficientes	5,45	22	5,50	20
Falta de recursos humanos com competências em economia circular	5,95	21	5,45	21
As empresas vêem-se apenas como produtores /consumidores, e não como parceiros	8,59	19	5,23	22
Número de respondentes	11		11	
<b>Coeficiente de concordância de Kendall (W)</b>	0,232		0,514	

Utilizando o *software* “MegaStat” para o cálculo do mesmo concluiu-se que este registou um valor aquém do valor referência, situando-se nos 0,232 na primeira ronda de questões. Desta forma os respondentes foram convidados a responder a uma segunda ronda de questões considerando o valor médio obtido na primeira ronda.

Para identificação das barreiras mais relevantes, foi determinado o *rank* médio e ordenadas as barreiras em ordem decrescente (tabela 4.7).

Após a receção da segunda ronda de questões foi calculado o coeficiente de *Kendall*, cujo resultado foi de 0,514. Este valor demonstra que o nível de concordância relativa à primeira ronda melhorou substancialmente, mas sem superar o valor indicativo de 0,7.

Para testar a significância deste resultado, utilizou-se de novo o *software* “Megastat” para se proceder a um teste de hipóteses de *Friedmans* para verificar se existe ou não concordância entre os peritos. Foram testadas as seguintes hipóteses:

- H0: Não existe consenso entre os peritos
- H1: Existe um consenso significativo entre peritos

Após fazer o teste de hipóteses e verificar que o “Qui-quadrado” de *Friedman* (124,40) é superior ao seu valor crítico (32,92), conclui-se que é possível rejeitar a hipótese nula (H0). Este facto evidencia estatisticamente de que existe concordância entre os peritos. Desta forma, dado o valor do coeficiente de *Kendall*, que não supera o valor indicativo de 0,7, é possível afirmar que existe concordância entre respondentes devido ao resultado obtido no teste de hipóteses de *Friedmans*.

É importante referir que após a primeira ronda de questões houve algumas barreiras propostas por parte de alguns peritos que não foram avaliadas nem incluídas posteriormente na segunda ronda de questões. Estas barreiras são:

- A ignorância/desconhecimento do que é a economia circular e a simbiose industrial;
- Necessidade de mudança de comportamento por parte do consumidor;
- Falta de desenvolvimento de padrões quer para materiais quer para o design de novos produtos.

Importante referir também que, após o resultado da segunda ronda houve um respondente que, após não ter concordância com as respostas dos restantes respondentes após a primeira ronda contestou algumas barreiras:

- Relativamente à barreira “Elevados custos de licenciamento de subprodutos” o respondente argumentou que “*Os custos de licenciamento (de subprodutos) serão sempre muito marginais comparado com os benefícios de imagem e de encontro de destino.*”

- No que se refere à barreira “Lacunas na estrutura organizacional para o suporte à implementação da simbiose industrial” e “Lacunas no intercâmbio de informação entre cliente/fornecedor” o respondente contrapõe dizendo que *“As empresas que conhecem e se propõem praticar a economia circular têm já, ou encontram na sua organização recursos adequados para dedicar profissionalmente ao tema! Engenheiros de ambiente, por exemplo, presentes nas nossas indústrias são elementos competentes naturais para dinamizar a relação entre parceiros e fomentar a economia circular!”*
- A respeito da barreira “Falta de envolvimento empresarial nas questões relacionadas com o ambiente” o respondente justifica que *“Não existem empresas, dignas desse nome, que possam ignorar hoje em dia as questões ambientais!”*

Um outro respondente argumentou o seguinte em relação a duas barreiras:

- Em relação à barreira “Falta de concordância das características dos subprodutos com o estabelecido legalmente” o respondente contrapõe dizendo que *“Pode acontecer mesmo lacunas legais sobre a utilização de alguns materiais recicláveis e a forma de produção de subprodutos a partir dos mesmos.”*
- Finalmente, quanto à barreira “Incerteza no mercado de subprodutos”, o respondente argumenta que *“representa um elevado risco para o negócio o que pode desmotivar o investimento neste tipo de modelos de negócio.”*

#### **4.8 A economia circular em Portugal e estratégias de melhoria**

Em termos da organização/gestão da ecoeficiência, as indústrias de pasta, papel e cartão estão atentas ao tema da sustentabilidade ambiental. Para além de estarem inseridas numa associação que dá provas de estar preocupada com a sustentabilidade ambiente, tanto as indústrias como a associação da indústria papel e cartão portuguesa, fornecem informação de forma através de tanto de relatórios de sustentabilidade e de boletins estatísticos, utilizando uma metodologia de exposição de dados. Os resultados da entrevista ao membro da CELPA Eng. Marta Souto Barreiros estarão em *itálico* seguidos da abreviatura do nome da entrevistada seu nome (M.S.B)

De forma a propor objetivos e a concretizá-los, as empresas possuem um departamento especializado em questões ambientais com equipas experientes, motivadas e preparadas para o desempenho das funções ligadas à sustentabilidade ambiental. Esta é uma área onde existe a preocupação crescente pela qualificação e formação de técnicos especializados em sustentabilidade ambiental.

O investimento ambiental também está presente nas empresas associadas da CELPA. Apesar de ter havido nos últimos anos um declínio nos investimentos, entre 2006 e 2016, estes foram de

mais de 160 milhões de euros, nos quais cerca de metade relativos ao ar e clima, 30 % relativos ao consumo de água e melhoria da qualidade de efluentes líquidos, 7 % à gestão de resíduos e o restante a outras questões de natureza ambiental. Estes investimentos são muitas vezes inseridos em programas. No caso da CELBI (Celulose Beira Industrial), produtora de pasta de elevada qualidade, é possível verificar alguns programas na sua declaração ambiental (CELBI, 2015), cujo objetivo é:

- A redução drástica do consumo de água até ao final de 2016.
- Continuar a ter indústrias ecologicamente equilibradas, em observância da legislação nacional e comunitária.
- Reduzir para 15 Kg por tonelada de pasta os resíduos de lamas de carbonato produzidos na área de caustificação.
- Eliminar até 2016 o envio de resíduos do parque de madeiras para a Estação de Compostagem de Resíduos com a sua reutilização no processo.

No caso da Navigator Company, indústria produtora de pasta, papel e cartão, também é possível constatar no seu relatório de sustentabilidade ambiental (The Navigator Company, 2015), alguns investimentos na área ambiental:

- O projeto “5S (+1)”, no qual entrou em vigor em 2011 nos complexos industriais de Cacia, Figueira da Foz e Setúbal em que se segue uma filosofia *Lean* de gestão a longo prazo que assenta na sistematização e uniformização de processos, apostando numa melhoria contínua e redução de desperdícios.
- Aposta nas energias renováveis – A Navigator Company reforçou o investimento em tecnologias de baixo carbono. Este investimento, que visa substituir os combustíveis de origem fóssil por combustíveis renováveis, com destaque para a utilização de biomassa florestal, foi de cerca de 200 milhões de euros nos últimos oito anos, com recurso a tecnologias mais eficientes e ambientalmente mais corretas como a construção de duas centrais termoelétricas a biomassa, bem como importantes alterações em três centrais de cogeração que permitem a utilização de subprodutos provenientes da produção de pasta, papel e cartão.
- Continuando na área do consumo energético, a Navigator Company esteve envolvida num projeto de “otimização do balanço de energia”, num investimento aproximado de 500.000 euros, que resultou em poupanças de 3 milhões.
- Outras medidas de otimização energética implementadas foram:
  - Otimização do consumo diário de gás natural;
  - Otimização da produção de energia elétrica;
  - Redução de consumos de energia na iluminação e motores elétricos.

Na área das emissões atmosféricas, a Navigator Company destacou-se nos seguintes investimentos:

- A instalação de um sistema de tratamento de informação de emissões atmosféricas para todas as instalações da Navigator;
- Investimento no complexo industrial de Cacia que permite a recolha de gases odorosos fortes;
- Investimento num lavador de gases que permite a redução do conteúdo de enxofre dos gases.

Na área de produção de resíduos conseguiu-se reduzir a produção específica de resíduos através de:

- Otimização de todos os processos industriais;
- Melhorias realizadas na alimentação do forno de cal, o qual permitiu atingir uma redução significativa da produção de resíduos de lamas de cal.

Em termos de exploração de matérias primas/produção, para além do produto final ser “amigo do ambiente” - O papel é um material biodegradável e orgânico e leva apenas 3 a 6 meses a decompor-se, e tem uma boa capacidade de reciclagem - existe uma crescente preocupação em diminuir o consumo de matérias-primas por tonelada de pasta, papel e cartão produzidos. Também se pretende aumentar a qualidade das matérias-primas introduzidas no processo, como a utilização de madeira certificada ou a produção de madeira em matas próprias.

Ao longo dos anos tem havido uma otimização crescente no consumo de matéria-prima na produção de pasta para além do crescimento da qualidade ambiental na mesma. A área florestal praticada pelas empresas associadas da CELPA encontra-se atualmente certificada pelos sistemas FSC® (*Forest Stewardship Council*) ou “Conselho de gestão florestal” e PEFC® (*Program for the Endorsement of Forest Certification*) ou “Certificação da Gestão Florestal Sustentável” em respetivamente 56% e 78%.

Existem alguns pontos que necessitam de melhorias, tal como a dependência na compra de matéria-prima - 32 % da madeira utilizada ainda é importada - e a necessidade da atualização de alguns equipamentos e a valorização de resíduos.

O consumo de água, e conseqüentemente a rejeição de efluentes líquidos, tem sido um dos pontos de maior investimento das empresas associadas da CELPA. Em dez anos, graças ao criterioso programa de investimentos e conseqüente aplicação de técnicas inovadoras conseguiu-se reduzir em cerca de 23% a água total captada, e a reutilização de perto de 83% da mesma. No âmbito da reutilização de água e rejeição de efluentes líquidos, poderão ser utilizadas algumas técnicas tais como (Comissão Europeia, 2014; CELPA, 2015):

- O descasque a seco, no qual deixa de ser necessário água no processo de descasque, fazendo com que a água utilizada bem como a rejeição de efluentes decorrente deste processo seja reduzida;
- Manusear os troncos de madeira de forma a que se evite que se sujem com areia e pedras, desta forma não será necessário lavá-los e não é utilizada água, bem como não são rejeitados efluentes líquidos decorrentes deste processo. Como medida preventiva o parque de madeiras poderá ser pavimentado;
- Novas técnicas de branqueamento;
- Otimizar a monitorização da captação de água;
- Avaliar as opções de recirculação de água;
- Separação da água limpa e contaminada e reutilizá-la;
- Fechar os circuitos de água.

Outro *input* utilizado na indústria de pasta, papel e cartão é a energia utilizada. O setor em Portugal tem feito esforços neste âmbito. Um exemplo é a utilização de biomassa como combustível que representa já 69% do total de combustíveis utilizados. Algumas técnicas recomendadas para a eficiência energética na indústria de pasta, papel e cartão poderão ser:

- Utilização de um sistema de gestão de energia que reúna as seguintes características: i) Avaliação do consumo e produção total de energia da fábrica, ii) localização, quantificação e otimização da potencial recuperação energética na fábrica e iii) monitorização da situação otimizada do consumo de energia;
- Recuperação de energia incinerando resíduos da produção de pasta, papel e cartão que possuam conteúdo orgânico e alto poder calorífico;
- Utilização eficiente do vapor e eletricidade produzidos com a cogeração de energia;
- Utilização de calor excedentário para secar a biomassa, aquecer a água do processo, para o aquecimento dos edifícios;
- Utilização de motores de alta eficiência;
- Ajustar a pressão de vapor àquela que é estritamente necessária;
- Utilização de madeira com elevada quantidade de matéria seca.

Um *output* relevante na indústria de pasta, papel e cartão é a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido na atmosfera. Algumas técnicas de melhoria poderão ser:

- Utilização crescente de biomassa para a produção de energia;
- A utilização de sistemas de recolha de gases, bem como um sistema de deteção de fugas.
- A incineração e lavagem de gases;
- Registo da falta de disponibilidade do sistema de incineração de gases.

De acordo com a Figura 4.11, tanto no sector português como no setor em Espanha, os indicadores de simbiose industrial de ano para ano são muito voláteis. Dando um exemplo, em Portugal no ano de 2014, 77.000 toneladas foram utilizadas noutras indústrias enquanto que em 2015 este valor desceu para 29.000 toneladas. No caso espanhol o cenário é semelhante: os resultados parecem ter um carácter não tendencial de ano para ano.

O estudo permitiu concluir que as barreiras mais relevantes à implementação da economia circular no âmbito da simbiose industrial são:

- A falta de regulamentação de flexibilização e promoção do intercâmbio de subprodutos;
- A demora no processo de classificação de substâncias como subprodutos;
- A perceção de que o produto final proveniente da utilização de subprodutos será de qualidade inferior a um produto que use matéria prima virgem;
- A falta de parcerias entre empresas e instituições de investigação para o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e equipamentos;
- A falta de concordância das características dos subprodutos com o estabelecido legalmente;
- As lacunas (existentes) na cooperação entre parceiros da simbiose industrial.

Como é possível observar, as duas barreiras mais relevantes são de carácter legislativo. A falta de regulamentação de flexibilização e promoção do intercâmbio de subprodutos é uma responsabilidade política, sendo necessárias medidas das entidades responsáveis que promovam a economia circular na indústria e não criem obstáculos à mesma.

Quanto à demora no processo de classificação de substâncias como subprodutos, *uma das medidas necessárias poderia passar pela desburocratização dos processos de classificação de substâncias/resíduos industriais como subprodutos, por parte das entidades responsáveis. A legislação, os regulamentos e, até, as normas são em muitos casos um obstáculo à inovação, existindo mesmo um conflito de leis. Cada Estado-Membro tem “flexibilidade” na implementação da Directiva.* (M.S.B).

*A barreira que refere que a perceção de que o produto final utilizando matéria-prima é uma barreira cultural.* Não existe uma estratégia específica, mas as medidas que poderiam ser adotadas poderiam passar por campanhas de sensibilização de modo a chamar a atenção ao cliente final e conseqüentemente às entidades envolvidas na simbiose industrial que a utilização correta de alguns subprodutos não compromete a qualidade do produto final.

Quanto à falta de parcerias entre empresas e instituições, foi proposta a medida de que as instituições de investigação possam servir uma área mais abrangente de indústrias ou entidades. Uma estratégia específica poderia passar *por um maior posicionamento público dos organismos*

*de investigação, e a respetiva extensão do conhecimento. Assim, seria uma entidade pública (Universidades, Centros de Investigação, Laboratórios estatais...) a “provar” e “comprovar” a outros organismos públicos, de que é possível a utilização de um determinado resíduo em subproduto, sem danos ambientais ou para a saúde pública. Deixaria, portanto, de haver a “desconfiança” natural da nossa sociedade. (M.S.B).*

*As estratégias que poderiam ser usadas para colmatar as lacunas existentes entre parceiros da simbiose industrial poderiam passar por medidas logísticas e administrativas nas indústrias, que tivessem em conta a existência de outros fornecedores para além dos habituais a que as indústrias recorrem. (M.S.B).*



## 5 Conclusões e sugestões

Depois de feita a comparação da implementação da economia circular no setor pasta, papel e cartão e após ter sido realizado o levantamento das barreiras mais relevantes à implementação da economia circular no setor em Portugal, foram retiradas algumas conclusões.

Apesar do trabalho realizado não foi possível desenvolver algumas questões de interesse. Assim, são sugeridas também neste capítulo algumas ideias de desenvolvimento de trabalhos futuros.

### 5.1 Conclusões gerais

Apesar da atenção dada à eficiência de recursos por parte de algumas indústrias, o desenvolvimento do conceito da economia circular é ainda um tema emergente. Neste sentido, o trabalho fornece cinco principais contribuições ao tema:

- 1) Identificação e cálculo dos indicadores que compõe o estudo da economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha;
- 2) Proposta de um índice comparativo, alusivo à implementação da economia circular no setor pasta, papel e cartão;
- 3) Teste do índice proposto, realizando uma comparação entre o setor em Portugal e Espanha durante os anos referentes a 2011-2015;
- 4) Identificação de barreiras e impedimentos à economia circular no setor em Portugal;
- 5) Descrição e análise da implementação da economia circular no setor em Portugal, bem como propostas de técnicas que vão no sentido da progressão da mesma.

Foi possível identificar, calcular e analisar a evolução dos indicadores de consumo de madeira, de energia elétrica, de emissão de CO<sub>2</sub>, de rejeição de efluentes líquidos, de deposição de resíduos sólidos em aterro, de utilização de biocombustíveis, de reutilização de água, e de simbiose industrial, com base nos dados estatísticos do setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha. Destes constatou-se que o setor em Portugal consumiu na média dos anos compreendidos entre 2011 e 2015 menos 11,3% de energia elétrica, rejeitou menos 17,3% de efluentes líquidos, emitiu menos 16,8% de CO<sub>2</sub>, utilizou mais 37,7 pontos percentuais de biocombustíveis, enviou 49,5% menos resíduos para aterro, e tem uma implementação da simbiose industrial 19,13% superior. Também foi possível concluir que o setor em Espanha utiliza menos 2% de madeira que o setor em Portugal, e reutiliza mais 2,7 pontos percentuais de água que o setor em Portugal.

Foram criados gráficos-radar representativos da economia circular no setor pasta, papel e cartão em Portugal e Espanha. Destes resultados foi possível concluir que, através do cálculo do índice

comparativo, o setor em Portugal teve uma implementação da economia circular **34,98; 45,89; 34,65; 39,13 e 26,21%** superior ao setor em Espanha respetivamente nos anos compreendidos entre 2011 e 2015.

Foi possível concluir também que, apesar da possibilidade da utilização de subprodutos como matéria-prima noutras indústrias (por exemplo a utilização de “ALF” na produção de argamassas como apresentado detalhadamente neste trabalho), através da aplicação do método Delphi, existem barreiras que impedem a implantação plena desta prática. As três consideradas mais relevantes são: Falta de regulamentação de flexibilização e promoção do intercâmbio de subprodutos; demora no processo de classificação de substâncias como subprodutos; percepção de que o produto final proveniente da utilização de subprodutos será de qualidade inferior a um produto que use matéria prima virgem.

## **5.2 Pesquisa futura**

Como sugestão para uma investigação futura, recomenda-se aplicar o índice comparativo desenvolvido no presente trabalho alargando o estudo à indústria europeia de pasta, papel e cartão, nomeadamente nos países nórdicos. Nestes países a economia circular está em grande desenvolvimento e constante melhoria. A comparação com estes países seria benéfica, no sentido de compreender a posição de Portugal em relação a uma indústria que está na dianteira na aplicação da economia circular.

Fica também o desafio de aprofundar a investigação às barreiras existentes no desenvolvimento da economia circular, dado que estas têm características e impactos diferentes. Dinamizar um grupo de peritos, de diferentes setores (empresas, administração, academia e sociedade civil), seria uma mais-valia porque daria a perspetiva das barreiras à implementação da economia circular nos vários setores. Esse estudo poderia ter como objetivo o intercâmbio de “impressões”, conhecimento e informação, entre os vários setores de modo a que cada um compreenda aquilo que lhe parece uma barreira e vice-versa.

## Bibliografia

- Andersen, M. S., 2007. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, 2(1), pp. 133-140.
- ASPAPPEL, 2016. ASPAPPEL. Disponível em:  
[http://www.aspapel.es/sites/default/files/publicaciones/doc\\_444.pdf](http://www.aspapel.es/sites/default/files/publicaciones/doc_444.pdf) [Acedido em 26 10 2016].
- Associação Empresarial de Portugal, 2004. *Ambiente e Energia*. Disponível em:  
<http://www.aeportugal.pt/Inicio.asp?Pagina=/Areas/AmbienteEnergia/ISO14000/Normas&Menu=MenuAmbienteEnergia> [Acedido em 13 Maio 2016].
- Associação Empresarial de Portugal, 2013. *Manual Prático de Ecodesign*. Disponível em:  
<http://certif-ambiental.aeportugal.pt/Documentation/Manual%20Pr%C3%A1tico%20de%20Ecodesign.pdf> [Acedido em 25 Junho 2016].
- Associação Portuguesa do Ambiente, 2016. *Associação Portuguesa do Ambiente*. Disponível em: <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=957> [Acedido em 21 12 2016].
- Barreiros, M. S., 2014. *Lipor*. Disponível em:  
[http://www.lipor.pt/pt/bibliotecas/download.php?folder=bibliotecas&f=marta\\_souto\\_barreiros\\_556414781560c10c435d63.pdf](http://www.lipor.pt/pt/bibliotecas/download.php?folder=bibliotecas&f=marta_souto_barreiros_556414781560c10c435d63.pdf) [Acedido em 18 10 2016].
- Basu, A. J. & Zyl, D. J. v., 2006. Industrial ecology framework for achieving cleaner production in the mining and minerals industry. *Journal of Cleaner Production*, 14(3-4), pp. 299-304.
- Bauman, Z., 2007. *Consuming Life*. Cambridge: Polity Press.
- Beamon, B. M., 1999. Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12(4), pp. 332-342.
- Biondi, V., Frey, M. & Iraldo, F., 2000. Environmental Management Systems and SMEs: Motivations, Opportunities and Barriers related to EMAS and ISO 14001. *Greener Management International*, 29(1), pp. 55-70.
- Campos, A. R., 2006. *Resíduos Sólidos Industriais na Indústria Papeleira Portuguesa*, Lisboa: CELPA.

- Carrillo-Hermosilla, J., R o, P. d. & K nn l , T., 2010. Diversity of eco-innovations: Reflections from selected case studies. *Journal of Cleaner Production*, 18(10-11), pp. 1073–1083.
- CELBI, 2015. *Declara o ambiental*. Disponível em: <http://www.celbi.pt/documentos/300dec-ambiental-2015.pdf> [Acedido em 6 Outubro 2016].
- CELPA, 2014. *Boletim Estatístico 2014*. Disponível em: <http://www.celipa.pt/wp-content/uploads/2015/09/Boletim-Estat%C3%ADstico-da-Celipa-de-2014.pdf> [Acedido em 26 Junho 2016].
- CELPA, 2014. *Boletim Estatístico 2014*. Disponível em: <http://www.celipa.pt/wp-content/uploads/2015/09/Boletim-Estat%C3%ADstico-da-Celipa-de-2014.pdf>
- CELPA, 2015. *celpa.pt*. Disponível em: [http://www.celipa.pt/wp-content/uploads/2016/09/Boletim\\_WEB\\_2015.pdf](http://www.celipa.pt/wp-content/uploads/2016/09/Boletim_WEB_2015.pdf) [Acedido em 19 10 2016].
- Chan, A. P. C., Yung, E. H. K., Lam, P. T. I. & Tam, C. M., 2001. Application of Delphi method in selection of procurement systems for construction projects. *Construction Management and Economics*, 19(7).
- Chertow, M. R., 2000. Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25, pp. 313-337.
- Chertow, M. R., 2007. “Uncovering” Industrial Symbiosis, 11, pp. 11-30.
- Chertow, M. R., Ashton, W. S. & Espinosa, J. C., 2008. Industrial Symbiosis in Puerto Rico: Environmentally Related Agglomeration. *Regional Studies*, 42(10), pp. 1299-1312.
- Chiu, S. F., Ward, J. V. & Massard, G., 2009. Introduction to the special issue on Advances in Life-Cycle Approaches. *Journal of Cleaner Production*, 17(14), pp. 1237–1240.
- Comissão Europeia, 2011. *A resource-efficient Europe – Flagship initiative of the Europe 2020 Strategy*. Disponível em: [http://ec.europa.eu/environment/resource\\_efficiency/pdf/VROM.pdf](http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/pdf/VROM.pdf) [Acedido em 23 Maio 2016].
- Comissão Europeia, 2014. *Conclusões MTD para a produ o de pasta, papel e cartão*, Bruxelas: Jornal Oficial da União Europeia.
- Comissão Europeia, 2014. *Report on Critical raw materials for the EU*. Disponível em: [http://www.catalysiscluster.eu/wp/wp-content/uploads/2015/05/2014\\_Critical-raw-materials-for-the-EU-2014.pdf](http://www.catalysiscluster.eu/wp/wp-content/uploads/2015/05/2014_Critical-raw-materials-for-the-EU-2014.pdf) [Acedido em 26 Maio 2016].

- Comissão Europeia, 2014. *The European Economic and Social Committee on the review of the list of critical raw materials for the EU*. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52014DC0297> [Acedido em 5 Junho 2016].
- Comissão Europeia, 2015. *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy*. Disponível em: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/TXT/?uri=CELEX%3A52015DC0614> [Acedido em 25 Outubro 2016].
- Cradle to Cradle Products Innovation Institute, 2016. *Cradle to Cradle Institute*. Disponível em: <http://www.c2ccertified.org/about> [Acedido em 27 Outubro 2016].
- Ehrenfeld, J. & Gertler, N., 1997. Industrial ecology in practice: the evolution of interdependence at Kalundburg. *Journal of Industrial Ecology*, 1, pp. 67-77.
- Ellen MacArthur Foundation, 2013. *Towards the Circular Economy Vol. 1: an economic and business rationale for an accelerated transition*. Disponível em: <http://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf> [Acedido em 29 Julho 2016].
- Felicio, M. C., 2013. *Proposta de um Indicador para monitorar a evolução da simbiose industrial em Parques Eco-industriais segundo a perspectiva de sistemas dinâmicos*. Universidade de São Paulo: São Carlos: EESC-USP.
- Ferrão, P. C., 2009. *Ecologia Industrial: Princípios e Ferramentas*. Lisboa: IST Press.
- Francas, D. & Minner, S., 2009. Manufacturing network configuration in supply chains with product recovery. *Omega*, 37(4), pp. 757-769.
- Geng, Y. & Doberstein, B., 2008. Developing the circular economy in China: challenges and opportunities for achieving “leapfrog development”. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 15(3), pp. 231-239.
- Geng, Y., Xinbei, W., Qinghua, Z. & Hengxin, Z., 2010. Regional initiatives on promoting cleaner production in China: a case of Liaoning. *Journal of Cleaner Production*, 18(15), pp. 1502-1508.
- Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A. & Koh, S. L., 2015. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, 66, pp. 344-357.

- Georgiadis, P. & Besiou, B., 2008. Sustainability in electrical and electronic equipment closed-loop supply chains: a system dynamics approach. *Journal Production*, 16(15), pp. 1665-1678.
- González, G. C., 2009. Una revisión de los principios de la ecología industrial. 22(59).
- González, P., Sarkis, J. & Diaz, B. A., 2008. Environmental management system certification and its influence on corporate practices: Evidence from the automotive industry.. *International Journal of Operations and Production Management*, 28(11), pp. 1021-1041.
- Guo, J., Mao, H. & Wang, T., 2010. Ecological Industry: A Sustainable Economy Developing Pattern. *Journal of Sustainable Development*, 3(3).
- Heshmati, A., 2015. *A Review of the Circular Economy and its Implementation*. Disponível em: <http://ftp.iza.org/dp9611.pdf> [Acedido em 11 Novembro 2016].
- Hicks, C. & Dietmar, R., 2007. Improving cleaner production through the application of environmental management tools in China. *Journal of Cleaner Production*, 15(5), pp. 395-408.
- Israel, D., 2009. *Data Analysis in Business Research: A Step-By-Step Nonparametric Approach*. California: Sage Publications.
- Jasch, C., 2000. Environmental performance evaluation and indicators. *Journal of Cleaner Production*, 8(1), pp. 79-88.
- Jawahir, I. & Bradley, R., 2016. Technological Elements of Circular Economy and the Principles of 6R-Based Closed-loop Material Flow in Sustainable Manufacturing. *Procedia CIRP*, 40, pp. 103–108.
- Jeste, D. V. et al., 2010. Expert Consensus on Characteristics of Wisdom: A Delphi Method Study. *The gerontologist: Oxford Journals*, 50(5), pp. 668–680.
- Justo, C., 2005. *A Técnica Delphi de Formação de Consensos*. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/14766/1/MariaHSNM\\_TESE.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/14766/1/MariaHSNM_TESE.pdf) [Acedido em 3 Fevereiro 2017].
- Kaplinsky, R. & Morris, M., 2001. *A Handbook for Value Chain*. Ottawa: IDRC.
- Kharel, G. & Charmondusit, K., 2008. Eco-efficiency evaluation of iron rod industry in Nepal. *Journal of Cleaner Production*, 16(13), pp. 1379–1387.

- Korhonen, J., 2011. Four ecosystem principles for an industrial ecosystem. *Journal of Cleaner Production*, 9, pp. 253-259.
- Lai, K.-h. & Cheng, T. C. E., 2009. *Just-in-time Logistics*. 1º ed. Wey Court East: Gower Publishing.
- Li, S., 2012. The Research on Quantitative Evaluation of Circular Economy Based on Waste Input-Output Analysis. *Procedia Environmental Sciences*, 12, pp. 65-71.
- Liu, Y. & Bai, Y., 2014. An exploration of firms' awareness and behavior of developing circular economy: An empirical research in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, pp. 145-152.
- Lowe, E. A., Zhu, Q., Wei, Y.-a. & Barnes, D., 2007. Industrial Symbiosis in China: A Case Study of the Guitang Group. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), pp. 31-42.
- Lyle, J. T., 1985. *Design for Ecosystems: Landscape, Land Use and Natural Resources*. 1º ed. Washington: Island Press.
- Mang, P. & Reed, B., 2016. *Regenerative Development and Design*. Rhinebeck: Regenesis Group and Story of Place Institute.
- Mathews, J. A. & Tan, H., 2011. Progress Toward a Circular Economy in China: The Drivers (and Inhibitors) of Eco-industrial Initiative. *Journal of Industrial Ecology*, 15, pp. 435-457.
- McDonough Braungart Design Chemistry, 2000. *Cradle to Cradle: Science, Innovation + Leadership*. Disponível em: <https://mbdc.com/wp-content/uploads/MBDC-Brochure.pdf> [Acedido em 28 Junho 2016].
- McDonough, W., Braungart, M., Anastas, P. T. & Zimmerman, J. B., 2003. Applying the Principles of green to Cradle-to-Cradle design. *Environmental Science Technology*, 37(23), pp. 434A-441A.
- Moraes, F. d. A. B., Piratelli, C. L. & Achcar, J. A., 2014. Condições ideais para o consumo específico de madeira na produção de celulose. *Production*, 24(3), pp. 712-724.
- Navigator Company, 2017. *The Navigator Company*. Disponível em: <http://www.thenavigatorcompany.com/Pasta-e-Papel/Papel/O-Processo-Produtivo-do-Papel> [Acedido em 10 02 2017].
- Neely, A., Richards, H., Mills, J. & Bourne, K. P. M., 1997. Designing performance measures: A Structured Approach. *International journal of operations & Production management*, 17(11), pp. 1131-1152.

- Oggioni, G., Riccardi, R. & Toninelli, R., 2011. Eco-efficiency of the world cement industry: A data envelopment analysis. *Energy Policy*, 39(5), pp. 2842–2854.
- Oliveira, A. M. & Tomazetti, E. M., 2012. Quando a sociedade de consumidores vai à escola: Um ensaio sobre a condição juvenil no Ensino Médio. *Educar em Revista*, pp. 181-200.
- Oliveira, J. A., 2008. *Empresas na Sociedade*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Park, H. & Behera, S., 2014. Methodological aspects of applying eco-efficiency indicators to industrial symbiosis networks. *Journal of Cleaner Production*, 64, pp. 478-485.
- Pereira, C. P., Paes, D. P., Prata, D. M. & Monteiro, L. P. C., 2014. Desenvolvimento de Índice de Comparação de Ecoeficiência a partir de Ecoindicadores. *Sistemas & Gestão*, 9, pp. 168-180.
- Pereira, J. V. I., 2009. Sustentabilidade: diferentes perspectivas, um objectivo comum. *Economia Global e Gestão*, 14(1), pp. 115-126.
- Population Reference Bureau, 2015. *World Population Data Sheet*. Disponível em: [http://www.prb.org/pdf15/2015-world-population-data-sheet\\_eng.pdf](http://www.prb.org/pdf15/2015-world-population-data-sheet_eng.pdf) [Acedido em 5 Maio 2016].
- Porter, M. E., 1985. *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. Nova Iorque: Free Press.
- Preston, F., 2012. *Global redesign? Shaping the circular economy*. *Energy, Environment and Resource Governance*, London, UK: Chatham House Briefing Paper.
- Sarkis, J., Zhu, Q. & Kee-hungLa, 2011. An organizational theoretic review of green supply chain. 130(1), pp. 1-15.
- Schmidt, R. L. K. K. M. & C. P., 2001. Identifying software project risks: an international Delphi study. *Journal of Management Information Systems*, 17(4), pp. 5-36.
- Schmidt, R. L. K. K. M. & C. P., 2001. Identifying software project risks: an international Delphi study. *Journal of Management Information Systems*, 17(4), pp. 5-36.
- Sendra, C., Gabarrell, X. & Vicent, T., 2007. Material flow analysis adapted to an industrial area. *Journal of Cleaner Production*, 15(17), pp. 1706–1715.
- Siitonen, S., Tuomaala, M. & Ahtila, P., 2010. Variables affecting energy efficiency and CO2 emissions in the steel industry. *Energy Policy*, 38(5), pp. 2477–2485.

- Silva, L. et al., 2010. *AFAC*. Disponível em:  
[http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2062\\_2010.pdf](http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%2062_2010.pdf) [Acedido em 18 10 2016].
- Stahel, W., 2013. *The Fourth Pillar: Applying the Principles of the Circular Economy — Stock Management and Caring— to People as a Resource*, Geneva: The Geneva Association.
- Stahel, W. R. & Reday-Mulvey, G., 1981. *Jobs for Tomorrow: The Potential for Substituting Manpower for Energy*. New York, US: Vantage Press.
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y. & Yu, X., 2013. A review of the circular economy in China: moving from rethoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, 42, pp. 215-227.
- Subramanian, R., Gupta, S. & Talbot, B., 2009. Product design and supply chain coordination under extended producer responsibility.. *Production and operations management*, 18(3), pp. 259-277.
- The Navigator Company, 2015. *Relatório de sustentabilidade*. Disponível em:  
[http://www.thenavigatorcompany.com/var/ezdemo\\_site/storage/original/application/6e27db4cab09920dca9b67d91f1ddade.pdf](http://www.thenavigatorcompany.com/var/ezdemo_site/storage/original/application/6e27db4cab09920dca9b67d91f1ddade.pdf) [Acedido em 12 Outubro 2016].
- The Navigator Company, 2016. *Apresentação CELPA NVG Company*. Setúbal, The Navigator Company.
- The Product-Life Institute, 2013. *Product Life*. Disponível em:  
<http://www.productlife.org/en/about> [Acedido em 30 Maio 2016].
- Thoresen, J., 1999. Environmental performance evaluation — a tool for industrial improvement. *Journal of Cleaner Production*, 7(5), pp. 365-370.
- V. Daniel R. Guide, J. & Wassenhove, L. N. V., 2006. Closed-Loop Supply Chains: An Introduction to the Feature Issue (Part 1). *Production and Operations Management*, 15(3), pp. 345-350.
- Valle, A. B., 2015. *Gestão estratégica da tecnologia da informação*. 2º ed. Rio de Janeiro: FGV.
- WBCSD, 2000. *A eco-eficiência: Criar mais valor com menos impacto*. Disponível em:  
<http://www.bcsdportugal.org/wp-content/uploads/2013/11/publ-2004-Eco-eficiencia.pdf> [Acedido em 5 Novembro 2016].
- Winkler, H., 2011. Closed-loop production systems—A sustainable supply chain approach. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4(3), pp. 243–246.

- World Business Council for Sustainable Development, 2016. *Business Solutions for a Sustainable World*. Disponível em: <http://www.wbcsd.org/about/overview.aspx> [Acedido em 18 Junho 2016].
- Wright, J. & Giovinazzo, R., 2000. DELPHI - Uma ferramenta de apoio ao planeamento prospectivo. *Caderno de pesquisas em administração*, 1(12).
- Ying, J. & Li-jun, Z., 2012. Study on Green Supply Chain Management Based on Circular. *Physics Procedia*, 25(1), pp. 1682 – 1688.
- Yuan, Z. & Jun Bi, Y. M., 2006. The Circular Economy: A New Development in China. *Journal of Industrial Ecology*, 10(1-2), pp. 4-8.
- Zhou, Z., Chen, X. & Xiao, X., 2013. On Evaluation Model of Circular Economy for Iron and steel enterprise based on Support Vector Machines with Heuristic algorithm for Tuning Hiper-parameters. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 7(6), pp. 2215-2223.
- Zhu, Q., Sarkis, J. & Lai, K.-h., 2008. Green supply chain management implications for “closing the loop”. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44(1), pp. 1-18

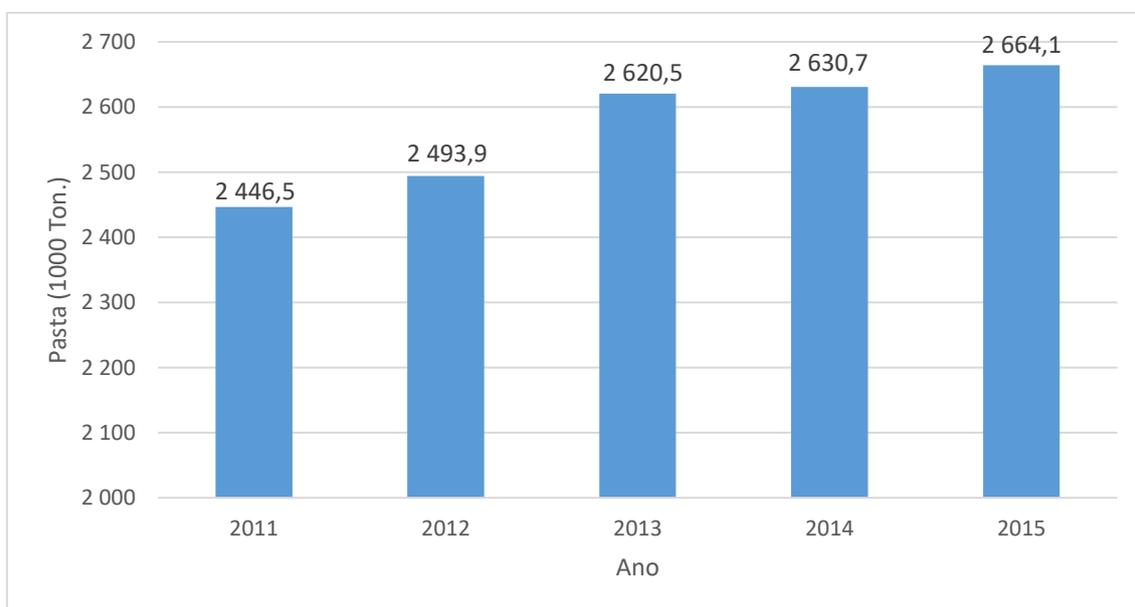
## Anexos

### Anexo A Análise do setor pasta, papel e cartão em Portugal

Os dados relativos à produção, utilização de recursos, e poluição foram fornecidos pela CELPA em documento EXCEL. Estes dados, também se encontram no seu boletim estatístico.

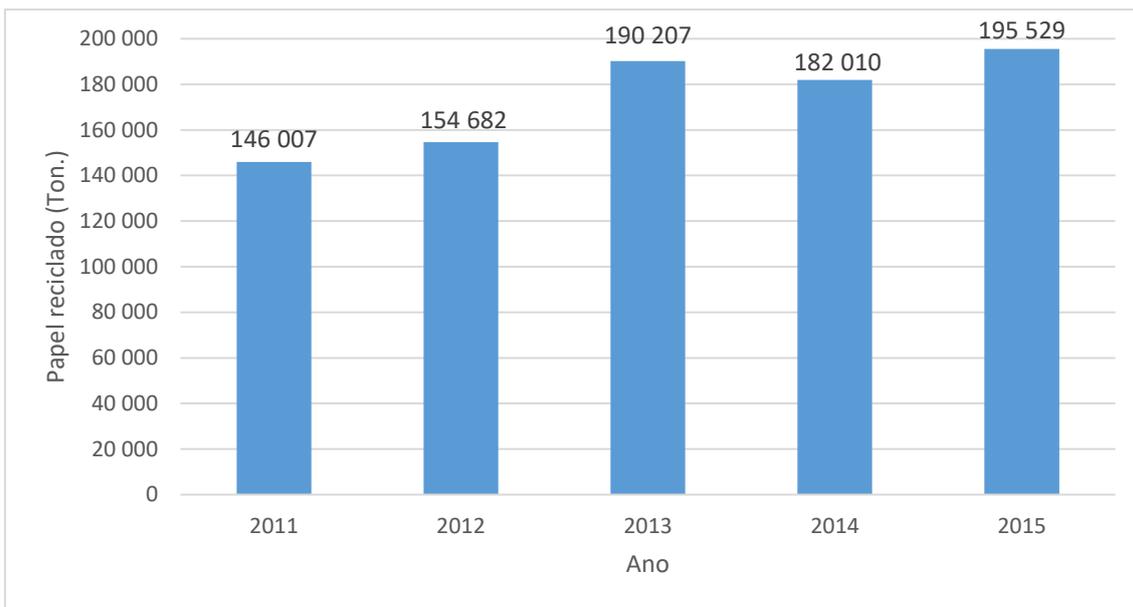
#### A.1 Dados de produção

Como base nos cálculos dos valores apresentados na Figura 6.1, conclui-se que produção de pasta no setor em Portugal registou no último ano um aumento na ordem dos 9% da produção registada em 2011.



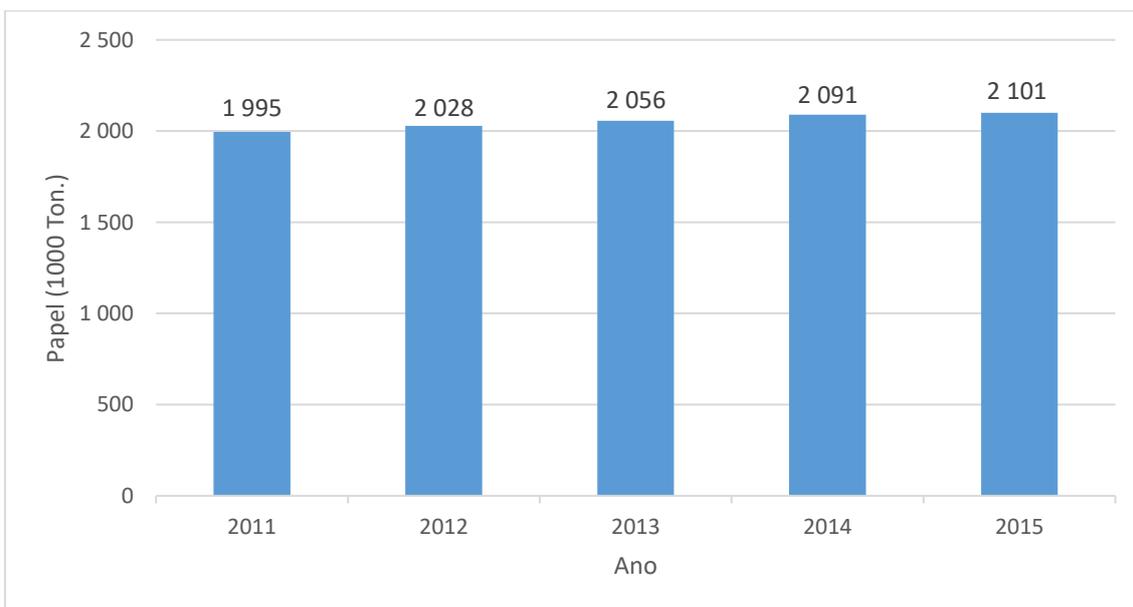
**Figura A.1: Produção de pasta no setor pasta, papel e cartão em Portugal**

Na Figura 6.2 está representada a produção de pasta para papel recuperado, uma pasta com as características necessárias para a produção de papel reciclado, ocupa no sector português uma pequena percentagem. No entanto, o crescimento da mesma desde 2011 é significativa, com um aumento de cerca de 33% da produção do mesmo nos últimos 5 anos.



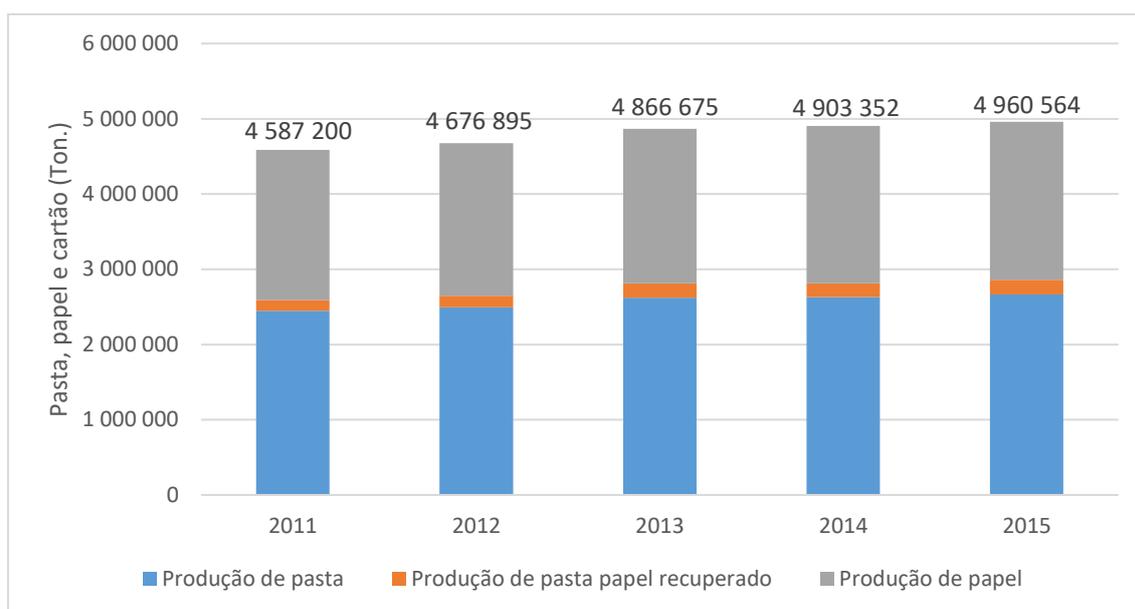
**Figura A.2: Produção de pasta para papel reciclado no setor pasta, papel e cartão em Portugal**

Na Figura 6.3 está ilustrada a produção de papel no setor em Portugal. Nos últimos cinco anos a produção cresceu cerca de 5%.



**Figura A.3: Produção de papel e cartão no setor pasta, papel e cartão em Portugal**

A Figura 6.4 representa toda a produção do sector pasta, papel e cartão português.



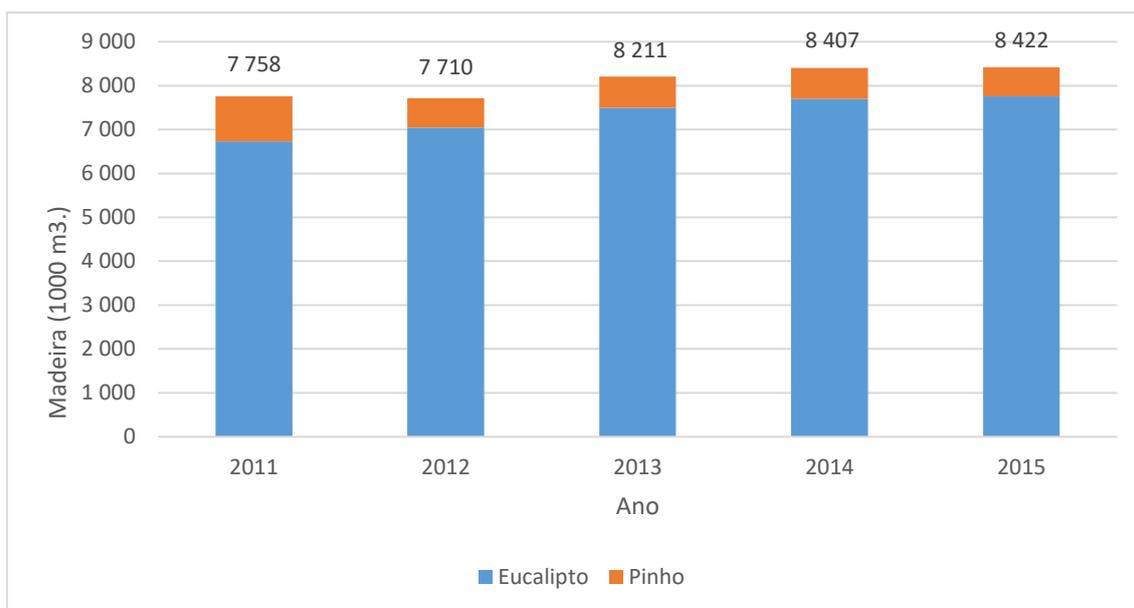
**Figura A.4: Produção total do setor pasta, papel e cartão em Portugal**

## A.2 Dados de consumo ou *inputs*

Como já referido, os inputs são todos os recursos utilizados pelo setor pasta, papel e cartão necessários para realizar a sua atividade. Os recursos materiais utilizados são a madeira, a energia e a água.

Em Portugal, no ano de 2014, do total de madeira, e pelo que é possível observar na Figura 6.5, o tipo predominante utilizado no setor pasta, papel e cartão em Portugal foi o Eucalipto. Em 2015 a utilização de madeira de eucalipto foi de 7 712 milhões de m<sup>3</sup>, mantendo a tendência de crescimento na utilização do mesmo. Devido a assuntos internos, a CELPA deixou de reportar os dados de aquisição e consumo de pinho no ano de 2015, pelo que o valor do consumo de pinho foi estimado pelo calculado da média das utilizações específicas de madeira de pinho referente aos anos compreendidos entre 2011 e 2014, calculadas respetivamente pelo rácio entre a utilização de madeira de pinho presente na Figura 6.5 e a produção de pasta referente à utilização da mesma (em m<sup>3</sup>/Ton.).

Após este cálculo, para estimar a utilização de pinho no ano 2015 multiplicou-se este resultado pela produção de pasta proveniente de madeira (em Ton.), retirando a estimativa da utilização de pinho no ano 2015 (em m<sup>3</sup>).



**Figura A.5: Utilização de madeira no setor pasta, papel e cartão em Portugal**

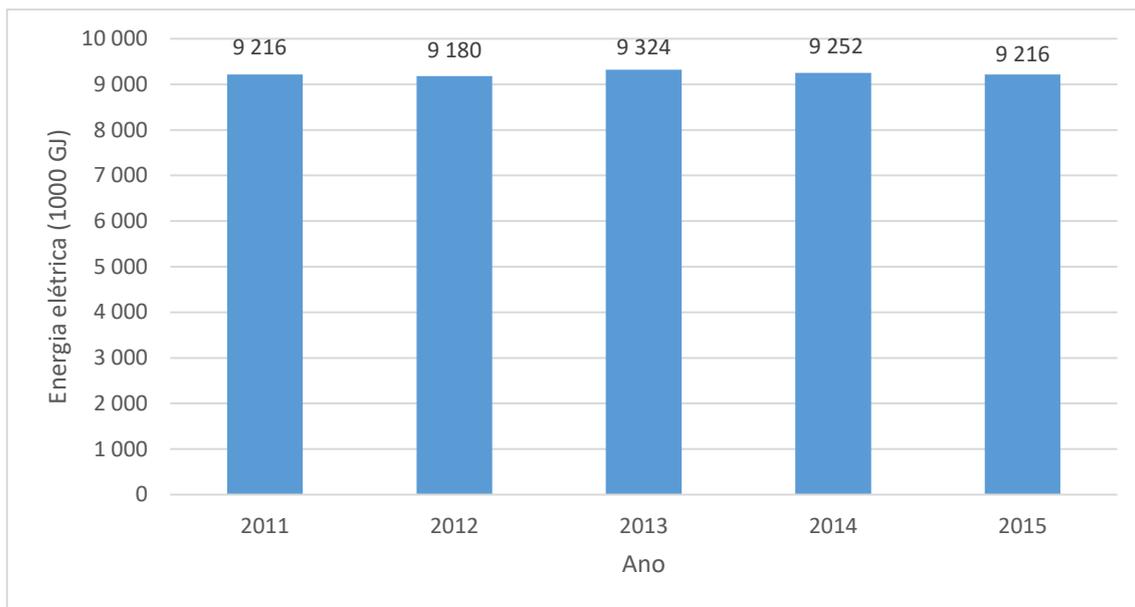
A produção de pasta proveniente das duas espécies utilizadas de madeira no setor pasta, papel e cartão em Portugal são dados na Figura 6.6

		Produção total de pastas de fibra virgem (1.000 ton)									
		2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Eucalipto	Produção Integrar	747	744	756	840	965	1.171	1.120	1.163	1.170	1.100
	Produção Mercado	1.041	1.065	1.077	1.191	1.074	1.048	1.204	1.288	1.293	1.400
	Produção Total	1.788	1.809	1.833	2.032	2.039	2.219	2.324	2.451	2.463	2.500
Pinho	Produção Integrar	168	171	178	150	163	150	164	170	168	162
	Produção Mercado	108	112	10	0	62	81	0	0	0	0
	Produção Total	276	283	188	150	224	231	164	170	168	162

**Figura A.6: Produção de pasta por tipo de madeira utilizada**

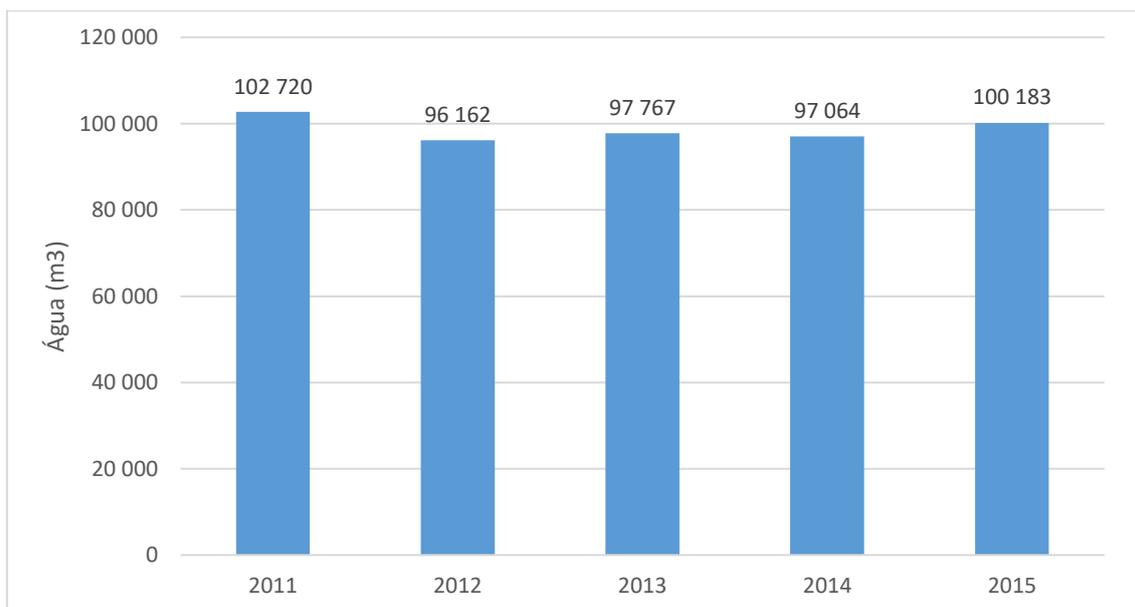
Fonte: (CELPA, 2015)

Para produção de energia elétrica é utilizada biomassa proveniente tanto de restos de madeira que não pode ser utilizada no processo produtivo da pasta como de “licor negro” – um resíduo proveniente do cozimento da madeira durante o processo produtivo - e combustíveis fósseis para a produção de energia. O setor pasta, papel e cartão manteve-se excedentário na produção de eletricidade, com a produção a ultrapassar o consumo em cerca de 38%.



**Figura A.7: Utilização de energia elétrica no setor em Portugal**

Na Figura 6.8 é possível ver a quantidade de água total captada no setor pasta, papel e cartão em Portugal. Esta é uma informação relevante para o cálculo da reutilização de água no setor.

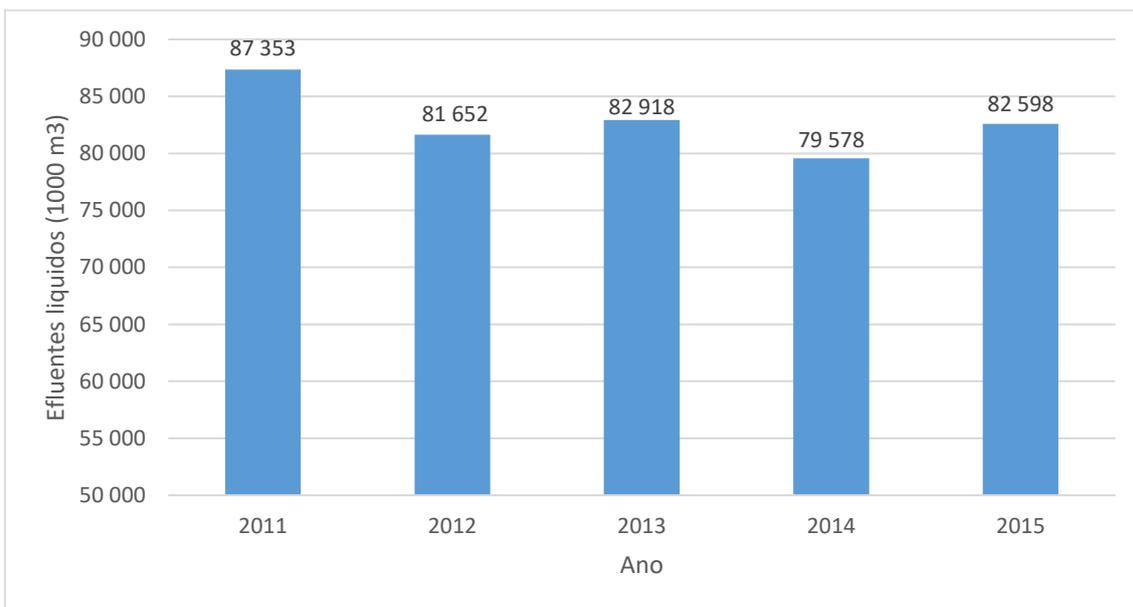


**Figura A.8: Captação total de água no setor em Portugal**

### A.3 Dados de *outputs*

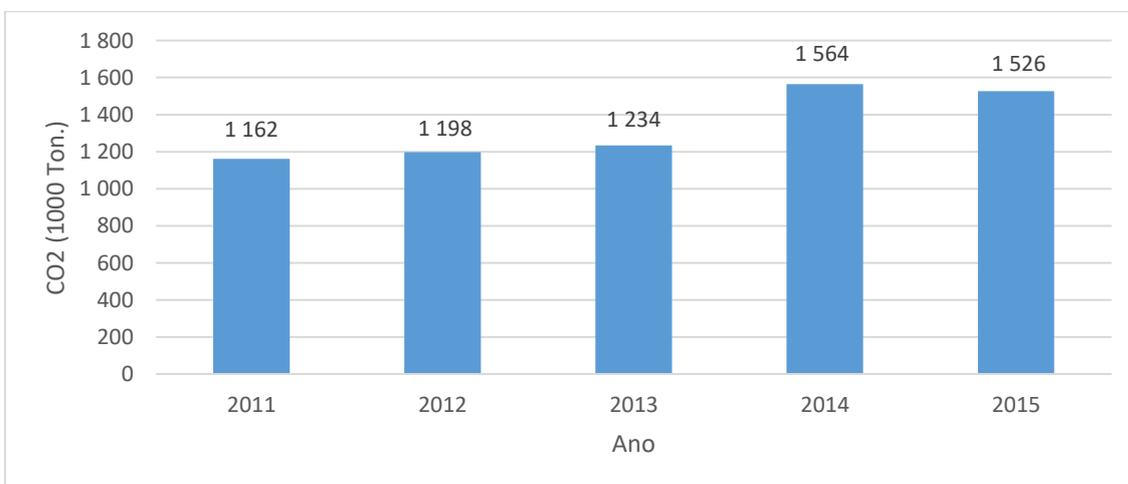
Como já explicado, os *outputs* são determinadas substâncias que o setor pasta, papel e cartão emite em consequência da sua atividade. Os *outputs* considerados são a rejeição de efluentes líquidos, as emissões de CO<sub>2</sub> e a deposição de resíduos sólidos produzidos em aterro.

Durante o processo de produção de pasta, papel e cartão, a indústria papelreira rejeita efluentes que, após devidamente tratados, são descarregados. Sendo que a maioria dos associados da CELPA se concentra junto à costa do Vale do Tejo, o destino dos mesmos reflete essa localização. Em 2015, 63% dos efluentes líquidos foram descarregados no oceano, 24% em estuários e 13% em rios e albufeiras. As descargas realizadas no oceano são efetuadas a uma distância considerável da costa de modo a reduzir o impacto nos ecossistemas locais. O total de efluentes produzido pelo setor pasta, papel e cartão está representado na Figura 6.9



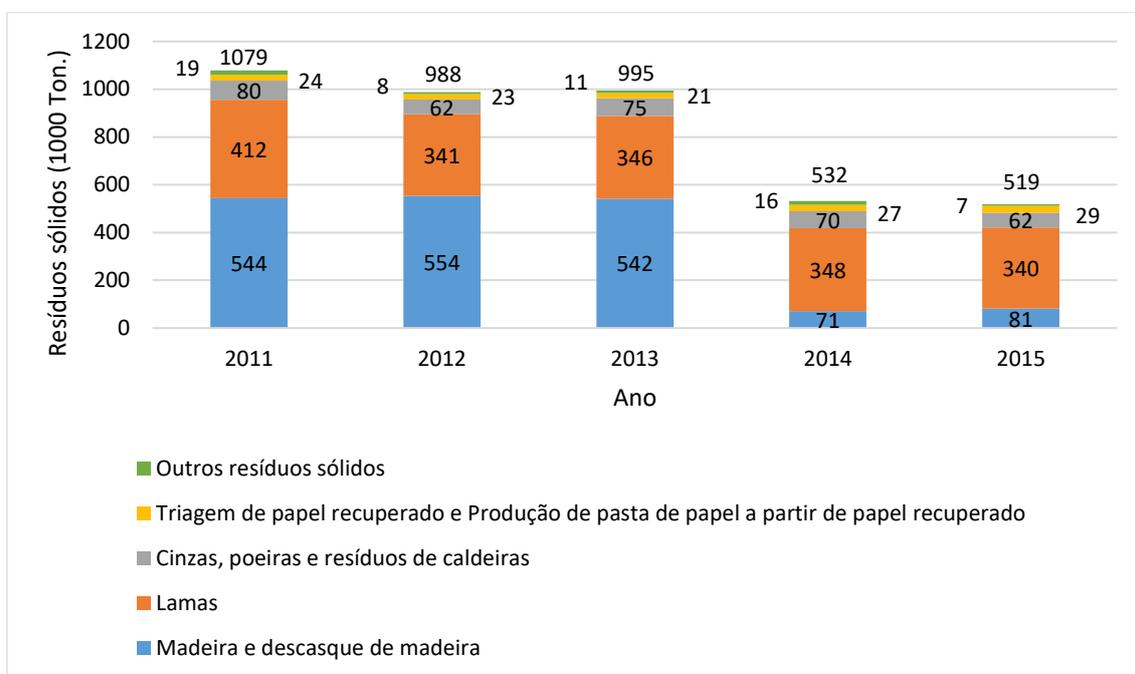
**Figura A.9: Rejeição de efluentes líquidos no setor em Portugal**

As principais fontes de emissões gasosas na indústria estão associadas à necessidade de produção de vapor e de eletricidade, à recuperação dos químicos e à produção de cal para o processo. Na Figura 6.10 é possível observar um aumento na emissão de CO<sub>2</sub> nos últimos cinco anos, cifrando-se este em cerca de 30%.



**Figura A.10: Emissões de CO<sub>2</sub> no setor em Portugal**

A produção de resíduos sólidos (cujos valores estão expostos na Figura 6.11) é resultante do processo industrial, e está diretamente relacionada com o padrão de produção de pastas e papéis. A partir do ano de 2014 o boletim estatístico na secção dos resíduos sofre uma nova forma de reporte na qual a biomassa que não é utilizada no processo produtivo deixa de ser considerada como tal.



**Figura A.11: Produção de resíduos sólidos no setor pasta, papel e cartão em Portugal**

A tabela 6.1 contém informação acerca do destino dos resíduos sólidos produzidos no setor pasta, papel e cartão em Portugal. Destaca-se a descida acentuada dos resíduos que são depositos em aterro, representando cerca de 40%

**Tabela A.1: Destino resíduos sólidos no setor pasta, papel e cartão em Portugal**

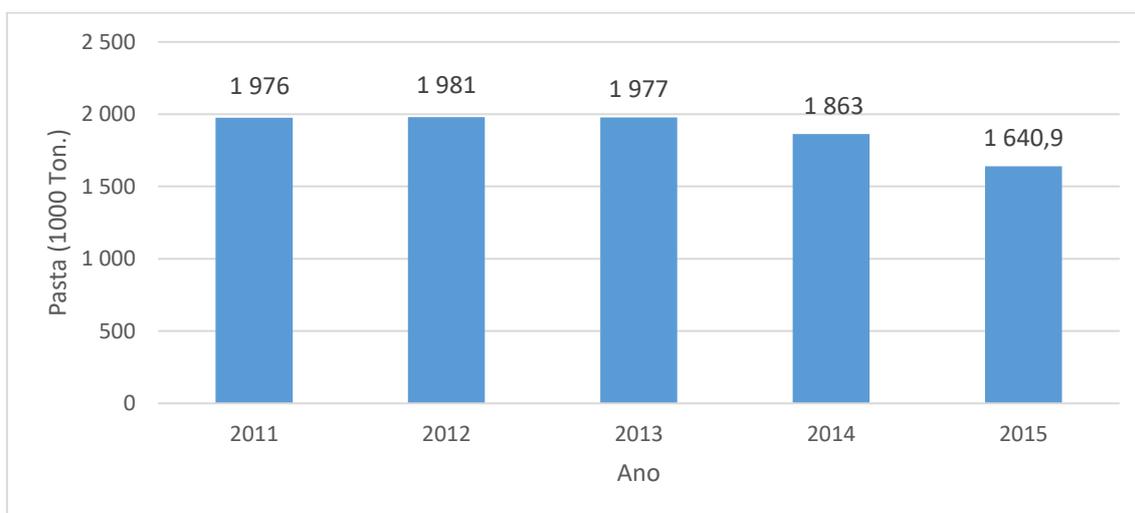
Ano	2011	2012	2013	2014	2015
Aterro (1000 Ton.)	138,0	120,0	123,0	105,0	82,0
Valorização energética (1000 Ton.)	592,0	597,0	593,0	131,0	138,0
Agricultura e compostagem (1000 Ton.)	182,0	155,0	133,0	79,0	74,0
Valorização por outras industrias (1000 Ton.)	89,0	66,0	61,0	77,0	29,0
Outros destinos (1000 Ton.)	113,0	84,0	101,0	153,0	202,0

## Anexo B Análise do setor pasta, papel e cartão em Espanha

Os dados da produção, da utilização de recursos, e da poluição encontram-se no boletim estatístico da associação da indústria papelreira espanhola (ASPAPPEL, 2016)

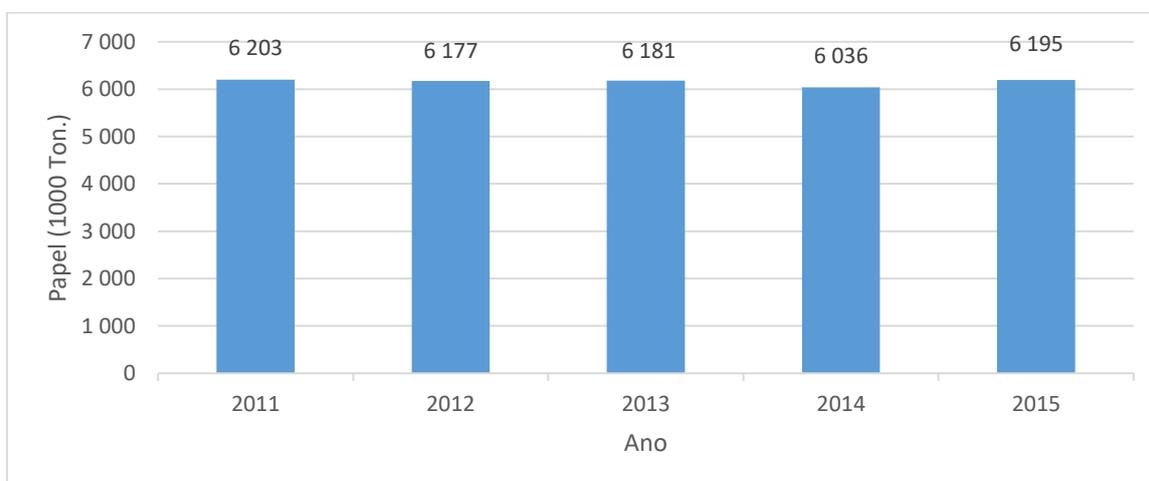
### B.1 Dados de produção

Como é possível observar na Figura 6.12, o setor em Espanha registou no último ano uma produção de 1 640 900 toneladas de pasta, um valor 17% inferior ao registado em 2011. Nota-se aqui uma tendência de decréscimo na produção, sendo este mais notório nos últimos três anos.



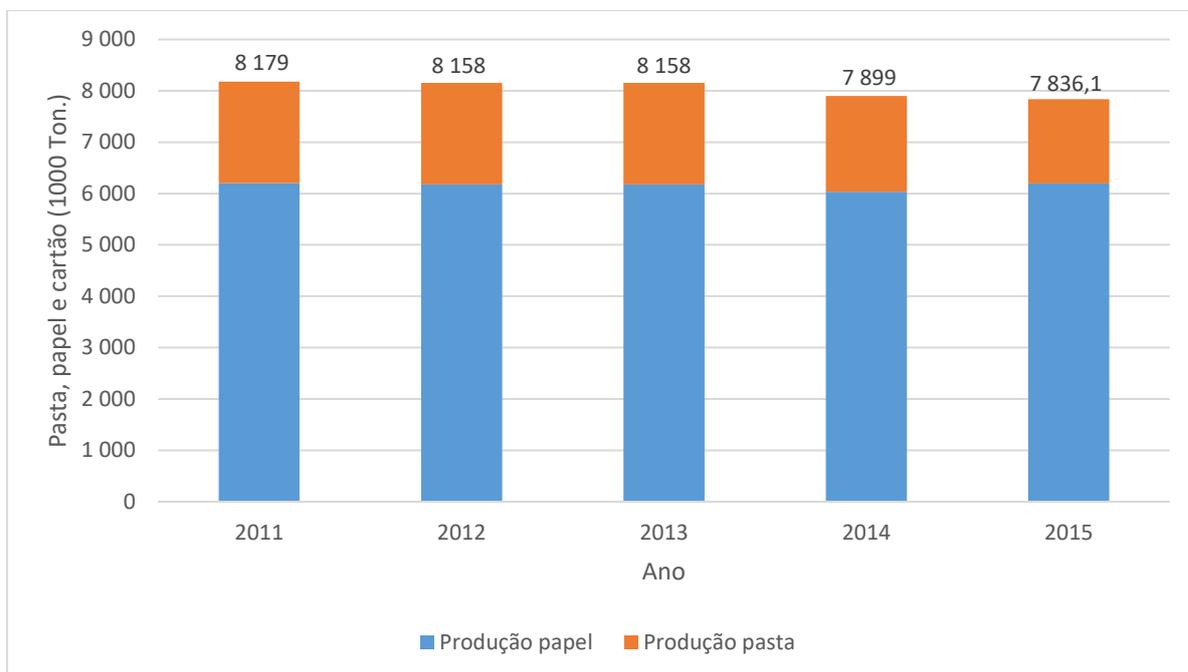
**Figura B.1: Produção de pasta no setor em Espanha**

Na produção de papel, o setor em Espanha de pasta, papel e cartão produziu cerca de 6 195 200 toneladas, um valor que não difere muito da média dos últimos anos. Estes dados estão presentes na Figura 6.13



**Figura B.2: Produção de papel no setor em Espanha**

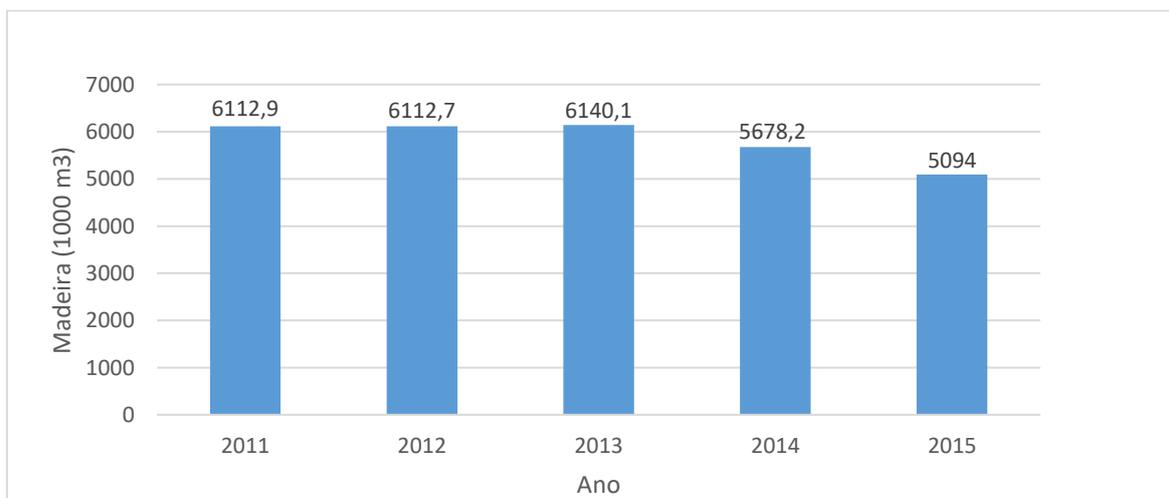
A Figura 6.14 representa toda a produção do sector pasta, papel e cartão espanhol. Estes dados, tal como no sector em Portugal, servirão para calcular os indicadores de “utilização ou geração de *inputs* e *outputs*.”



**Figura B.3: Produção total no setor em Espanha**

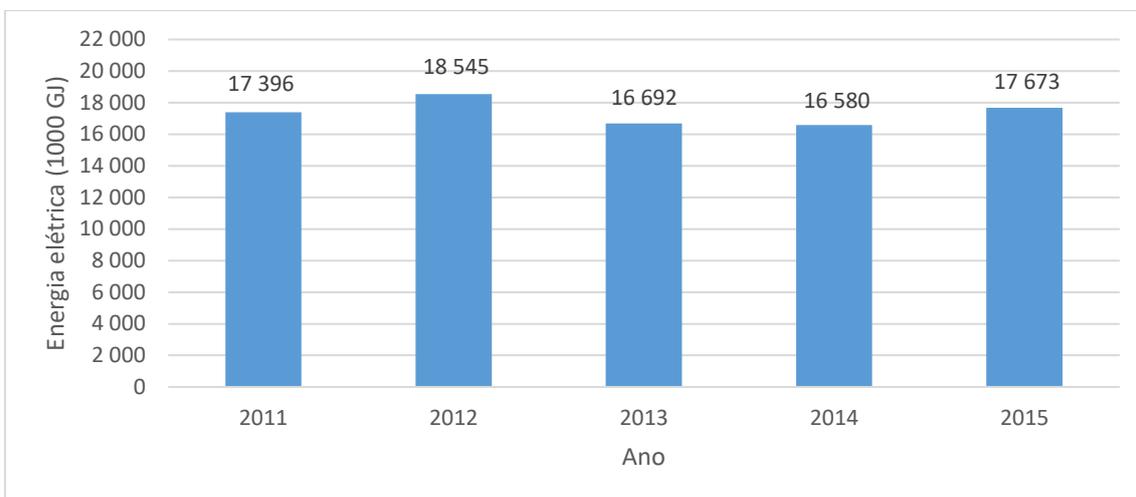
## B.2 Dados de consumo ou *inputs*

Também no sector espanhol predomina a utilização de eucalipto *Globulus* como matéria-prima. No ano de 2014 o eucalipto representou 80% do total da madeira utilizada para a produção de pasta. Nos últimos três anos nota-se um decréscimo na utilização da mesma.



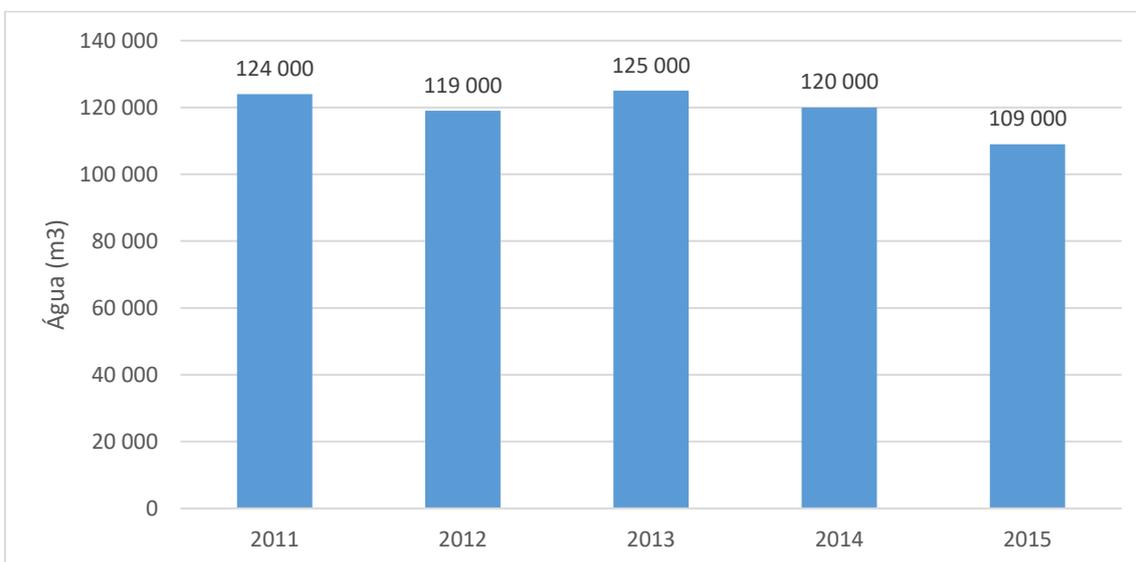
**Figura B.4: Utilização de madeira no setor em Espanha**

Para produção de energia elétrica, para além do uso de combustíveis fósseis, são utilizados também resíduos como o licor negro e madeira que não é utilizada para o processo produtivo da pasta. O consumo de energia elétrica está representado na Figura 6.16



**Figura B.5: Consumo de energia elétrica no setor em Espanha**

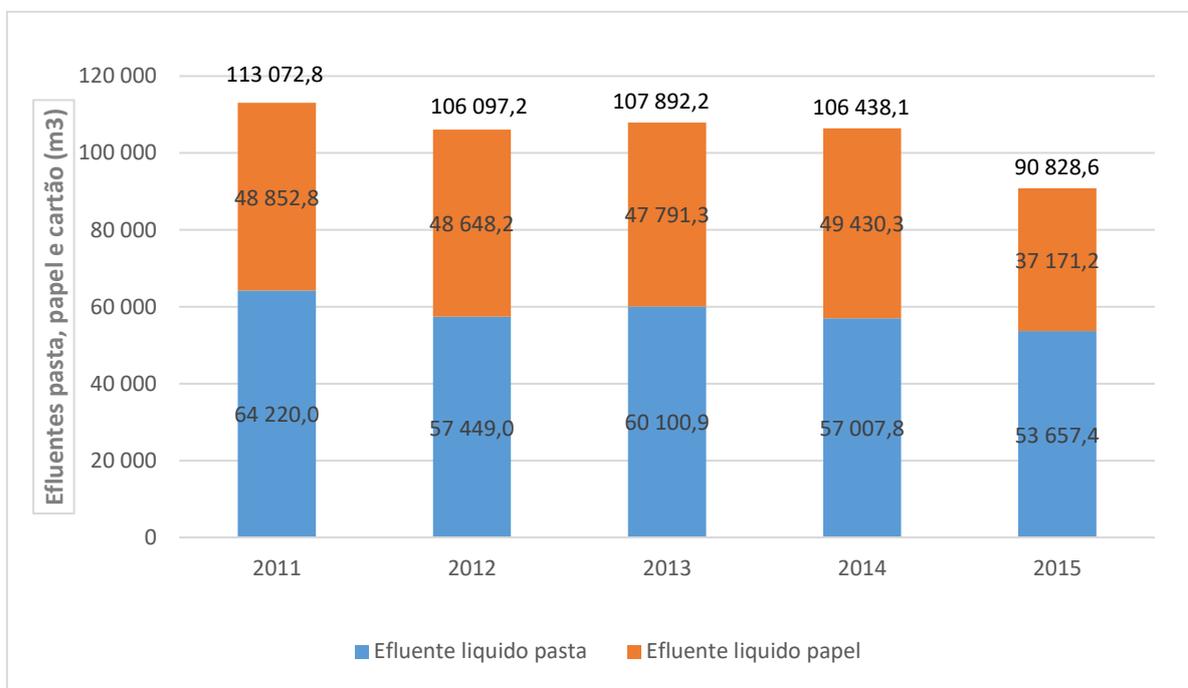
Na Figura 6.17 é possível ver a quantidade de água total captada no setor pasta, papel e cartão em Espanha. Esta é uma informação relevante para o cálculo da reutilização de água no setor.



**Figura B.6: Captação de água no setor pasta, papel e cartão em Espanha**

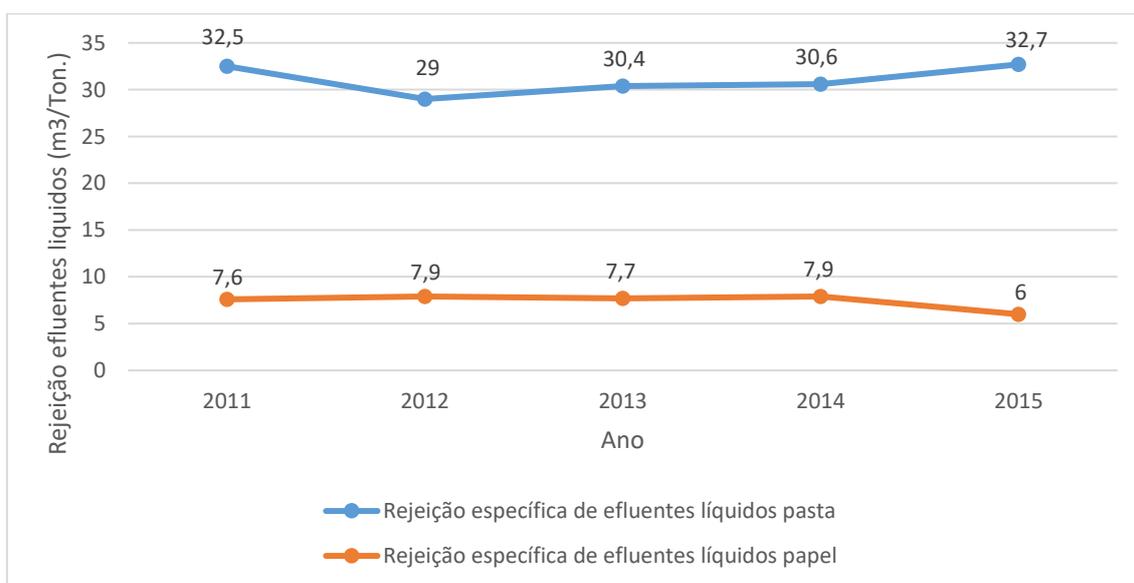
### B.3 Dados de *outputs*

Também a rejeição de efluentes líquidos consta no boletim estatístico da ASPAPEL de forma separada tanto para a produção de pasta como para a produção de papel. A rejeição destes efluentes está descrita na Figura 6.18



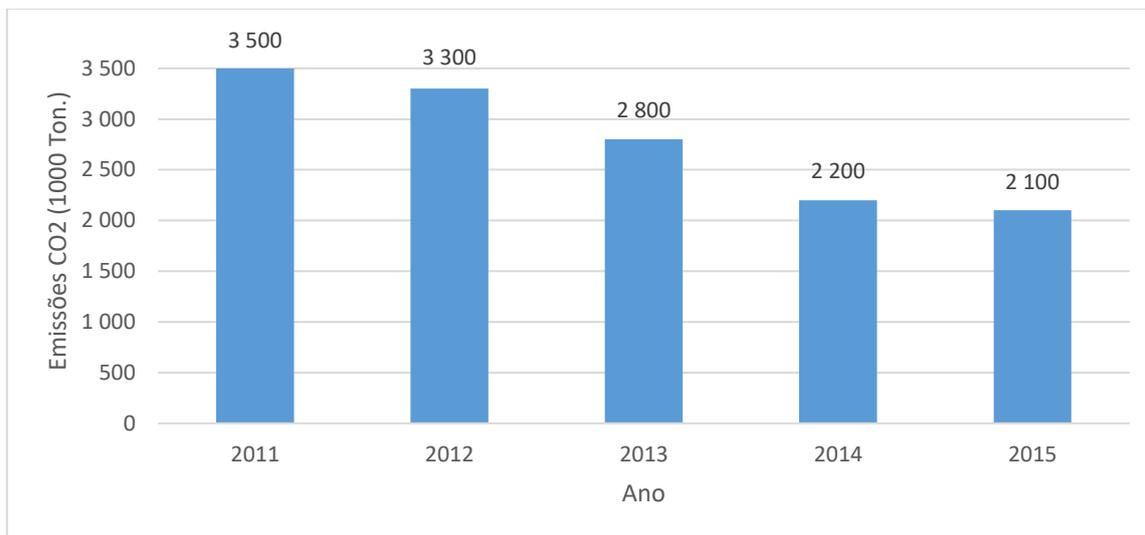
**Figura B.7: Rejeição de efluentes líquidos no setor em Espanha**

Na Figura 6.19 estão expostas as rejeições específicas de efluentes líquidos de forma discriminada tanto na produção de pasta como de papel. Estes dados foram retirados do boletim estatístico da (ASPAPEL, 2016)



**Figura B.8: Rejeições específicas de efluentes líquidos no setor em Espanha**

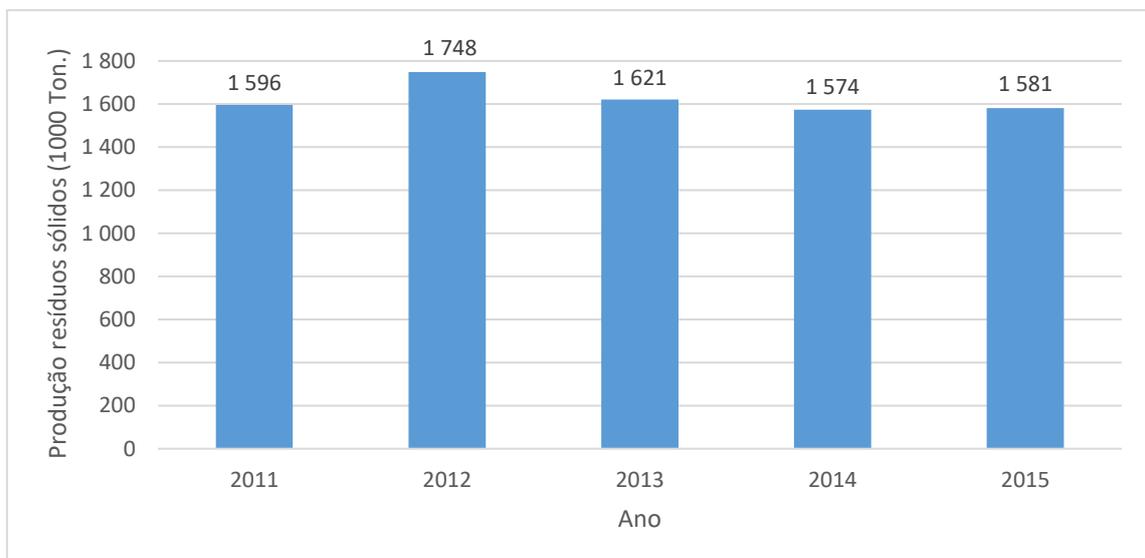
Tal como no setor em Portugal, as emissões CO<sub>2</sub> do setor pasta, papel e cartão em Espanha são caracterizadas pela sua proveniência maioritária da produção de vapor e eletricidade. Em 2015 por exemplo, para a produção de eletricidade no setor em Espanha foram emitidos cerca de 2,1 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Estas emissões sofreram um decréscimo substancial, cifrando-se numa diminuição de cerca dos 40%. As emissões dos últimos cinco anos estão representadas na Figura 6.20



**Figura B.9: Emissões de CO<sub>2</sub> no setor pasta, papel e cartão em Espanha**

Na Figura 6.21 estão representadas as produções de resíduos no setor pasta, papel e cartão em Espanha. Há que ter em atenção que no reporte dos resíduos do setor em Espanha está incluída a madeira que é utilizada como biomassa para produção de energia. No ultimo ano, a indústria de pasta, papel e cartão

espanhola produziu 1 581 193 toneladas de resíduos sólidos.



**Figura B.10: Produção de resíduos sólidos no setor em Espanha**

A quantidade e o destino dos resíduos produzidos no setor pasta, papel e cartão em Espanha são dados na tabela 6.2

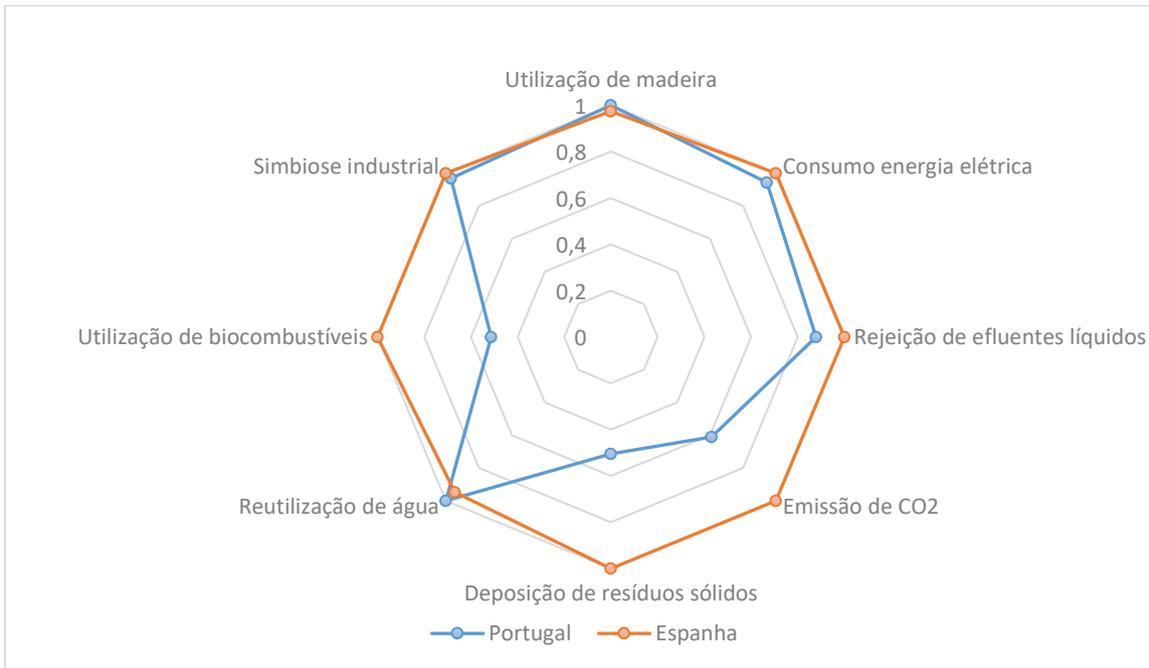
**Tabela B.1: Destino dos resíduos sólidos no setor pasta, papel e cartão em Espanha**

<b>Ano</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
Aterro	462 919,75	485 902,022	371 303,577	305 305,172	313 076,214
Valorização energética na própria fábrica	140 472,2	412 492,364	442 645,749	398 155,714	398 460,636
Valorização energética em outras indústrias	-	-	-	34 622,236	41 111,018
Uso agrícola	501 230,35	419 483,76	392 381,946	347 796,098	240 341,336
Compostagem	193 149,275	269 168,746	160 519,887	146 357,634	230 854,178
Indústria cerâmica	153 242,4	59 426,866	21 078,369	20 458,594	99 615,159
Indústria cimento	122 913,175	34 956,98	34 049,673	48 785,878	6324,772
Matéria prima outras indústrias	11 173,925	38 452,678	129 713,04	22 032,332	67 991,299
Outros destinos	11 173,925	26 217,735	68 099,346	66 096,996	72 734,878
Não indicado	-	-	-	184 127,346	110 683,51

Da tabela é possível retirar os dados dos resíduos que são utilizados em simbiose industrial, calculados pela soma dos resíduos que são utilizados para valorização energética para outras indústrias, os que são utilizados na indústria cerâmica e do cimento, bem como para matéria-prima utilizada para outras indústrias

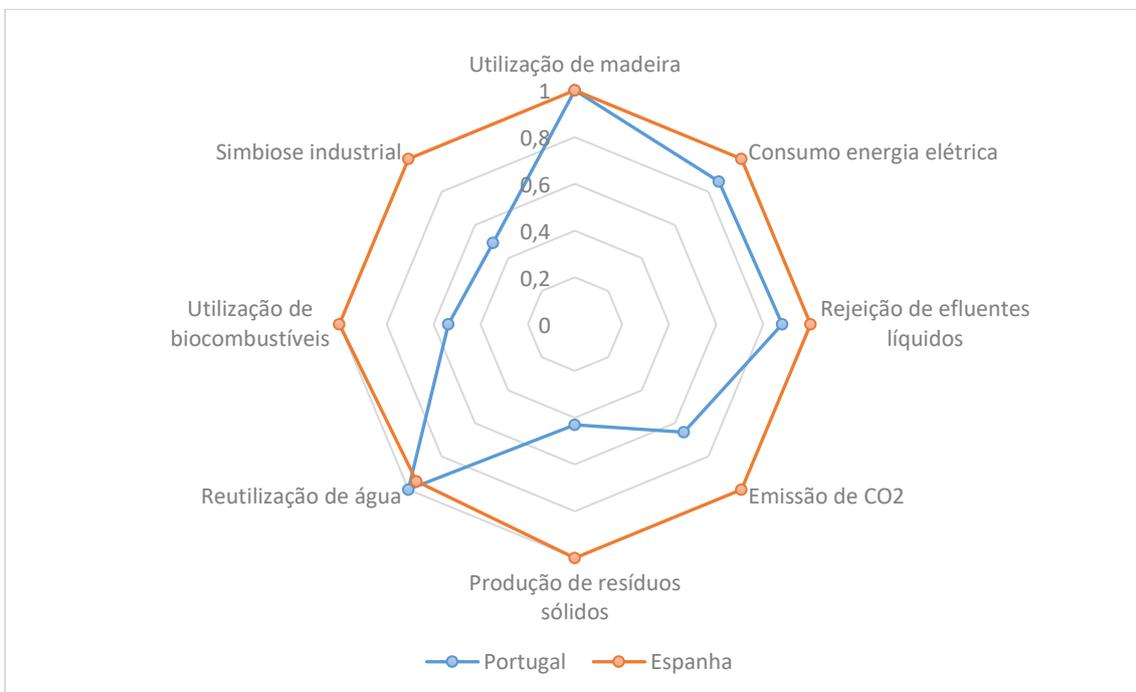
## Anexo C Resultados relativos aos anos 2011-2014

O gráfico-radar com os resultados relativos ao ano 2011 é dado na Figura 6.22



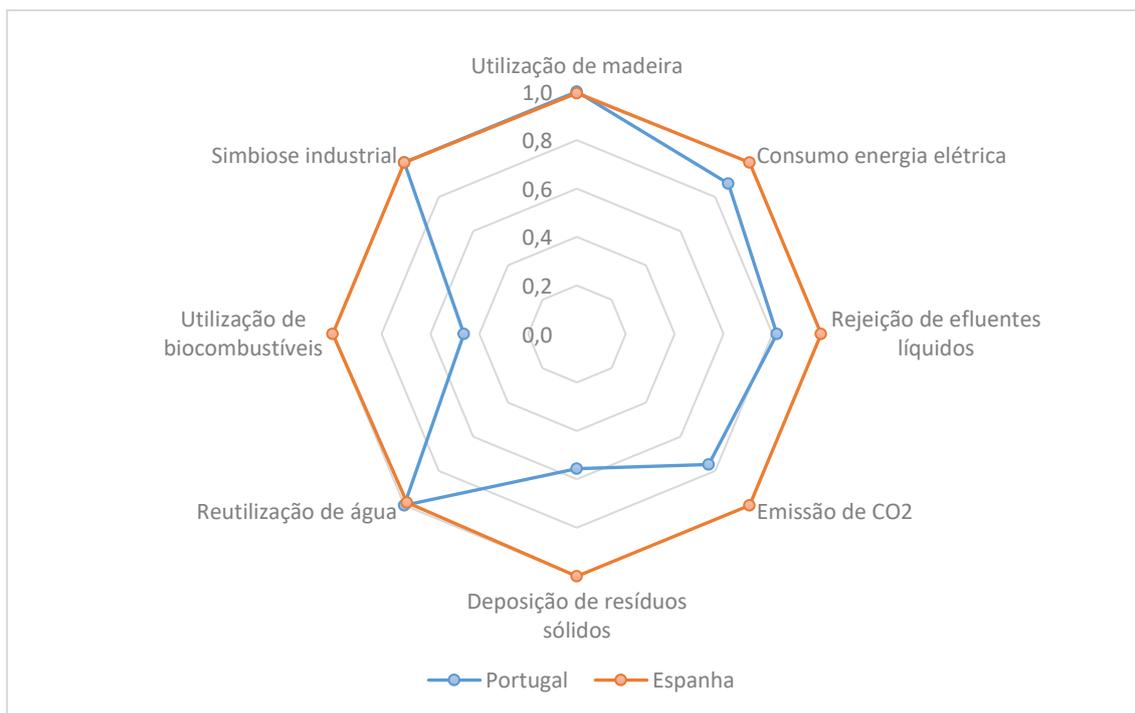
**Figura C.1: Representação da economia circular no setor em Portugal e Espanha em 2011**

O gráfico-radar com os resultados relativos ao ano 2012 é dado na Figura 6.23



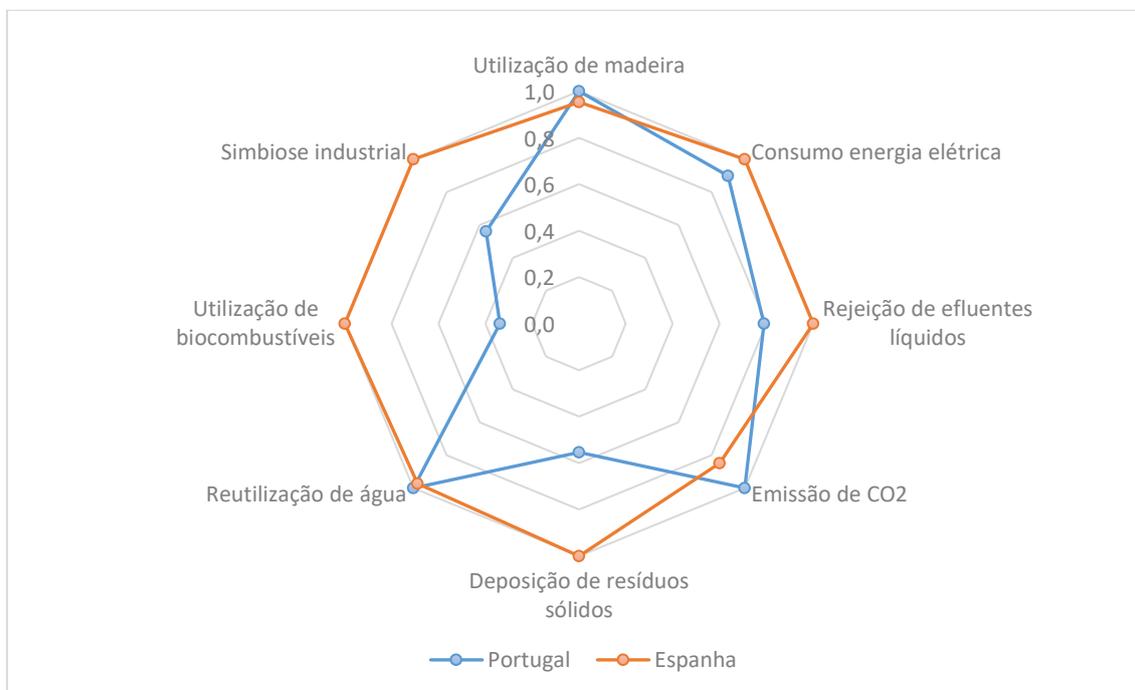
**Figura C.2: Representação da economia circular no setor em Portugal e Espanha em 2012**

O gráfico-radar com os resultados relativos ao ano 2013 é dado na Figura 6.24



**Figura C.3: Representação da economia circular no setor em Portugal e Espanha em 2013**

O gráfico-radar com os resultados relativos ao ano 2014 é dado na Figura 6.25



**Figura C.4: Representação da economia circular no setor em Portugal e Espanha em 2014**

O resultado do índice comparativo relativo ao ano 2011 está apresentado na tabela 6.3

**Tabela C.1: Cálculo do índice comparativo relativo a 2011**

<b>Produto entre indicadores</b>	<b>Portugal</b>	<b>Espanha</b>
Utilização de madeira × Consumo energia elétrica	0,94	0,93
Consumo de energia × Rejeição de efluente líquido	0,83	1,00
Rejeição de efluente líquido × Emissões de CO2	0,54	1,00
Emissões de CO2 × Deposição de resíduos sólidos	0,31	1,00
Deposição de resíduos sólidos × Reutilização de água	0,51	0,95
Reutilização de água × Utilização de biocombustíveis	0,51	0,95
Utilização de biocombustíveis × Simbiose industrial	0,50	1,00
Simbiose industrial × Utilização de madeira	0,97	0,93
<b>Soma dos produtos</b>	<b>5,10</b>	<b>7,70</b>
$1/2 * \text{sen}(2\pi/8)$	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>
<b>Área do polígono</b>	<b>1,80</b>	<b>2,74</b>
<b>Índice comparativo</b>	<b>-</b>	<b>34,98</b>

O resultado do índice comparativo relativo ao ano 2012 está visível na tabela 6.4

**Tabela C.2: Cálculo do índice comparativo relativo a 2012**

<b>Produto entre indicadores</b>	<b>Portugal</b>	<b>Espanha</b>
Utilização de madeira × Consumo energia elétrica	0,83	1,00
Consumo de energia × Rejeição de efluente líquido	0,76	1,00
Rejeição de efluente líquido × Emissões de CO2	0,58	1,00
Emissões de CO2 × Deposição de resíduos sólidos	0,28	1,00
Deposição de resíduos sólidos × Reutilização de água	0,43	0,95
Reutilização de água × Utilização de biocombustíveis	0,54	0,95
Utilização de biocombustíveis × Simbiose industrial	0,26	1,00
Simbiose industrial × Utilização de madeira	0,47	0,83
<b>Soma dos produtos</b>	<b>4,20</b>	<b>7,73</b>
$1/2 * \text{sen}(2\pi/8)$	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>
<b>Área do polígono</b>	<b>1,48</b>	<b>2,73</b>
<b>Índice comparativo</b>	<b>-</b>	<b>45,89</b>

O resultado do índice comparativo relativo ao ano 2013 está apresentado na tabela 6.5

**Tabela C.3: Cálculo do índice comparativo relativo a 2013**

<b>Produto entre indicadores</b>	<b>Portugal</b>	<b>Espanha</b>
Utilização de madeira × Consumo energia elétrica	0,86	1,00
Consumo de energia × Rejeição de efluente líquido	0,72	1,00
Rejeição de efluente líquido × Emissões de CO2	0,62	1,00
Emissões de CO2 × Deposição de resíduos sólidos	0,42	1,00
Deposição de resíduos sólidos × Reutilização de água	0,56	0,99
Reutilização de água × Utilização de biocombustíveis	0,46	0,99
Utilização de biocombustíveis × Simbiose industrial	0,46	1,00
Simbiose industrial × Utilização de madeira	0,98	0,84
<b>Soma dos produtos</b>	<b>5,09</b>	<b>7,81</b>
<b><math>1/2 * \text{sen}(2\pi/8)</math></b>	<b>0,354</b>	<b>0,354</b>
<b>Área do polígono</b>	<b>1,81</b>	<b>2,76</b>
<b>Índice comparativo</b>	<b>-</b>	<b>34,65</b>

O resultado do índice comparativo relativo ao ano 2014 está apresentado na tabela 6.6

**Tabela C.4: Cálculo do índice comparativo relativo a 2014**

<b>Produto entre indicadores</b>	<b>Portugal</b>	<b>Espanha</b>
Utilização de madeira × Consumo energia elétrica	0,90	0,94
Consumo de energia × Rejeição de efluente líquido	0,71	1,00
Rejeição de efluente líquido × Emissões de CO2	0,79	0,85
Emissões de CO2 × Deposição de resíduos sólidos	0,55	0,85
Deposição de resíduos sólidos × Reutilização de água	0,55	0,97
Reutilização de água × Utilização de biocombustíveis	0,34	0,97
Utilização de biocombustíveis × Simbiose industrial	0,19	1,00
Simbiose industrial × Utilização de madeira	0,56	0,94
<b>Soma dos produtos</b>	<b>4,60</b>	<b>7,54</b>
<b><math>1/2 * \text{sen}(2\pi/8)</math></b>	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>
<b>Área do polígono</b>	<b>1,63</b>	<b>2,66</b>
<b>Índice comparativo</b>	<b>-</b>	<b>39,13</b>

## Anexo D Comprovação da possibilidade de incorporação de ALF em argamassas-cola

De acordo com um ensaio realizado por Silva *et al.* (2010) em parceria com a universidade de Aveiro e com a Weber-Cimenfix, incorporando-se 12% de areias de leito fluidizado (ALF) para a produção de argamassa cimento-cola, foram obtidos os resultados laboratoriais, referentes à dimensão da areia analisada, e que podem ser observados na Figura 6.26

Malha ( $\mu\text{m}$ )	Material retido (%)	Limites <sup>(1)</sup>
1250	0,1	0,0-3,0
630	78,0	50,0-75,0
315	15,1	15,0-35,0
160	4,0	0,0-8,0
80	1,5	0,0-2,0
<80	1,0	0,0-1,0

<sup>(1)</sup> Impostos por normas ou requisito interno.

Figura D.1: Distribuição de partículas, após eliminação de resíduos acima de 1,250mm

Fonte: Silva *et al.* (2010)

Propriedade	Resultado	Limites <sup>(1)</sup>
<b>Análise de sais</b>		
Sulfatos (%)	Ausente	---
Cloretos	Presença significativa	<0,15 (na argamassa)
Nitritos	Vestígios	---
Nitratos	Ausente	---
<b>Teor matéria perdida (%)</b>		
100°C	<0,10	<0,10
500°C	0,10	<0,50
900°C	1,25	<2,50
<b>Cor</b>	Castanho	Limitado a produtos cinza

<sup>(1)</sup> Impostos por normas ou requisito interno

Figura D.2: Ensaio de sais solúveis, de teor de matéria orgânica e de água

Fonte: Silva *et al.* (2010)

A Figura 6.27 apresenta outros resultados referentes à avaliação da areia, tais como a análise de sais, o teor de matéria perdida e a cor

Após a aplicação das ALF em argamassas e após a sua análise, obtiveram-se os resultados expostos na Figura 6.28

<b>Propriedade</b>	<b>Resultado</b>	<b>Limites <sup>(1)</sup></b>
<b>Distribuição de partículas (%)</b>		
1250 $\mu\text{m}$	0,0	0,0-1,0
630 $\mu\text{m}$	12,2	5,0-15,0
315 $\mu\text{m}$	15,2	10,0-25,0
160 $\mu\text{m}$	20,0	15,0-30,0
80 $\mu\text{m}$	5,2	2,0-15,0
< 80 $\mu\text{m}$	46,9	40,0-55,0
<b>Densidade do material em pó</b>	1,20	1,20-1,30
<b>Rácio água/cimento</b>	0,60	0,60-0,70
<b>Densidade da pasta</b>	1,46	1,40-1,50
<b>Retenção de água (%)</b>	98,12	>95,0
<b>Resistência ao deslizamento (mm)</b>	0,0	<0,5
<b>Tempo de presa (min)</b>	360	420-540
<b>Aderência (EN12004) (N/mm<sup>2</sup>)</b>		
<b>Inicial</b>	1,80	>1,0
<b>Imersão em água</b>	0,80	>1,0
<b>Envelhecimento por calor</b>	1,92	>1,0
<b>Tempo aberto (30')</b>	0,89	>0,5

Figura D.3: Resultados relativos à incorporação de ALF tratado em argamassa-cola

Fonte: Silva *et al.* (2010)

## Anexo E Questionários enviados aos peritos

### Economia Circular

Este questionário insere-se no trabalho de investigação da dissertação conducente ao grau de Mestre em Gestão Industrial da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL).

O trabalho foca a **Economia Circular** no setor pasta, papel e cartão. Entende-se por economia circular como um modelo que propõe a eficiência de recursos e a reutilização de tudo o que é produzido. Uma vez que elimina o conceito de “resíduo”, esta possibilita um fluxo cíclico de energia e materiais, promovendo a implementação da simbiose industrial, ou seja, o intercâmbio de subprodutos entre diferentes indústrias.

O objectivo do questionário é obter um consenso relativo à importância dos vários elementos ou barreiras que impedem a adopção de iniciativas relacionadas com Economia Circular no setor pasta, papel e cartão.

Pedimos a sua colaboração através do preenchimento de um pequeno questionário.

### Questionário

Por favor indique a sua percepção sobre a importância das seguintes barreiras à implementação da Economia Circular no setor de pasta, papel e cartão. (Assinale com um **X** a resposta mais adequada).

Barreira	1 Nada importante	2	3 Importante	4	5 Extremamente importante
Falta de regulamentação de flexibilização e promoção do intercâmbio de subprodutos					
Demora no processo de classificação de substâncias como subprodutos					
Elevados custos de licenciamento de subprodutos					
Falta de concordância das características dos subprodutos com o estabelecido legalmente					
Desconexão entre a cultura empresarial e a prática da simbiose industrial					
Lacunas na estrutura organizacional para o suporte à implementação da simbiose industrial					
Lacunas no intercâmbio de informação entre cliente/fornecedor					
Lacunas na cooperação entre parceiros da simbiose industrial					
Falta de envolvimento empresarial nas questões relacionadas com o ambiente					

Desconfiança das entidades envolvidas quanto aos reais benefícios ambientais provenientes da simbiose industrial					
--	--	--	--	--	--

(Cont.)

<b>Barreira</b>	<b>1</b> Nada importante	<b>2</b>	<b>3</b> Importante	<b>4</b>	<b>5</b> Extremamente importante
Incerteza no mercado de subprodutos					
As empresas vêem-se apenas como produtores / consumidores, e não como parceiros					
Baixo custo de aquisição de recursos naturais e matérias primas (inferior ao do material reciclado)					
Incerteza na taxa de retorno do investimento em projetos de simbiose industrial					
Elevado custo de transporte entre parceiros (devido à sua localização geográfica)					
Incerteza nos benefícios económicos provenientes da prática da simbiose industrial					
Percepção de que o produto final proveniente da utilização de subprodutos será de qualidade inferior a um produto que use matéria prima virgem					
Falta de pressão pública para a implementação de iniciativas da economia circular (falta de conhecimento e de preocupação)					
Aspetos sócios culturais em Portugal não propícios à atividade de recuperação de subprodutos					
Falta de parcerias entre empresas e instituições de investigação para o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e equipamentos					
Falta de tecnologia, materiais e processos de suporte à re-utilização de subprodutos					
Instalações adequadas para o processamento de “práticas industriais normais” insuficientes					
Falta de recursos humanos com competências em economia circular					
<i>Por favor identifique outras barreiras que considere relevantes:</i>					

Obrigado pela sua colaboração!

### Questionário Economia Circular (2ª fase)

Os resultados da 1ª fase do questionário relativo à da importância das barreiras que impedem a adoção de iniciativas relacionadas com a Economia Circular no setor pasta, papel e cartão, revelaram que não existe consenso entre as repostas de um painel 8 peritos.

Solicitamos assim que responda novamente ao questionário considerando o valor médio obtido na 1ª fase.

Considerando o valor médio obtido na 1ª fase do questionário, por favor, indique a sua percepção sobre a importância das seguintes barreiras à implementação da Economia Circular no setor de pasta, papel e cartão (Assinale com um **X** a resposta mais adequada).

Caso considere a sua percepção seja muito divergente do valor médio obtido na 1ª fase, por favor, efectue um pequeno comentário explicativo no espaço disponível no fim da tabela.

<b>Barreira</b>	<b>Percepção</b>	<b>Valor médio (1ª fase)</b>	<b>1</b> Nada importante	<b>2</b>	<b>3</b> Importante	<b>4</b>	<b>5</b> Extremamente importante
Falta de regulamentação de flexibilização e promoção do intercâmbio de subprodutos		4,1					
Demora no processo de classificação de substâncias ou objectos como subprodutos		4,1					
Elevados custos de licenciamento de subprodutos		3,0					
Falta de concordância das características dos subprodutos com o estabelecido legalmente		3,6					
Desconexão entre a cultura empresarial e a prática da simbiose industrial		3,5					
Lacunas na estrutura organizacional para o suporte à implementação da simbiose industrial		3,6					
Lacunas no intercâmbio de informação entre cliente/fornecedor		3,5					
Lacunas na cooperação entre parceiros da simbiose industrial		3,7					
Falta de envolvimento empresarial nas questões relacionadas com o ambiente		3,0					
Desconfiança das entidades envolvidas quanto aos reais benefícios ambientais provenientes da simbiose industrial		3,4					
Incerteza no mercado de subprodutos		3,2					
As empresas vêem-se apenas como produtores / consumidores, e não como parceiros		2,9					
Baixo custo de aquisição de recursos naturais e matérias primas (inferior ao do material reciclado)		3,6					
Incerteza na taxa de retorno do investimento em projetos de simbiose industrial		3,6					
Elevado custo de transporte entre parceiros (devido à sua localização geográfica)		3,6					

(Cont.)

<b>Percepção</b>	<b>Média</b> <i>(1ª fase)</i>	<b>1</b> Nada importante	<b>2</b>	<b>3</b> Importante	<b>4</b>	<b>5</b> Extremamente importante
<b>Barreira</b>						
Incerteza nos benefícios económicos provenientes da prática da simbiose industrial	3,5					
Percepção de que o produto final proveniente da utilização de subprodutos será de qualidade inferior a um produto que use matéria prima virgem	3,5					
Falta de pressão pública para a implementação de iniciativas da economia circular (falta de conhecimento e de preocupação)	3,2					
Aspetos sócios culturais em Portugal não propícios à atividade de recuperação de subprodutos	2,9					
Falta de parcerias entre empresas e instituições de investigação para o desenvolvimento de novas tecnologias de processos e equipamentos	3,8					
Falta de tecnologia, materiais e processos de suporte à re-utilização de subprodutos	3,5					
Instalações adequadas para o processamento de “práticas industriais normais” insuficientes	2,4					
Falta de recursos humanos com competências em economia circular	2,6					
Comentários:						

Obrigado pela sua colaboração!

