

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

**RAFAEL ROQUE DINIZ**

**A EFICIÊNCIA DOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE PAPEL  
E CELULOSE PARA ECONOMIA CIRCULAR**

São Carlos

2017

RAFAEL ROQUE DINIZ

**A EFICIÊNCIA DOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE PAPEL  
E CELULOSE PARA ECONOMIA CIRCULAR**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Escola de Engenharia de  
São Carlos da Universidade de São Paulo.

Orientadora: Profa. Dra. Associada Daisy  
A. N. Rebelatto

São Carlos

2017

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

D585a      Diniz, Rafael Roque  
            A eficiência dos principais países produtores de  
            papel e celulose para economia circular. / Rafael Roque  
            Diniz; orientadora Daisy Aparecida do Nascimento  
            Rebelatto. São Carlos, 2017.

            Monografia (Graduação em Engenharia de Materiais e  
            Manufatura) -- Escola de Engenharia de São Carlos da  
            Universidade de São Paulo, 2017.

            1. Desenvolvimento sustentável. 2. Economia  
            Circular. 3. Papel e Celulose. 4. Eficiência. 5.  
            Análise Envoltória de Dados. I. Título.

## FORMULÁRIO PARA RELATÓRIO DE DEFESA DE TCC

Relatório de defesa pública de Trabalho de Conclusão de Curso da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo.

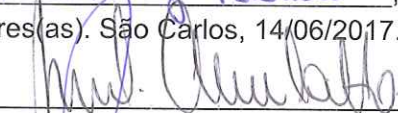
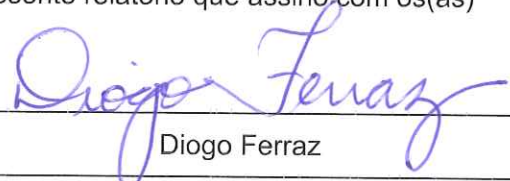
<b>Nome:</b> Rafael Roque Diniz		<b>Nº USP:</b> 7591010
<b>Orientador:</b> Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto		<b>Nº USP:</b> 28079422
<b>Título do TCC:</b> A eficiência dos principais países produtores de papel e celulose para economia circular.		
<b>Curso:</b> Engenharia de Materiais e Manufatura		
<b>Disciplina:</b> SMM0325 - Trabalho de Conclusão		
<b>Local da defesa:</b>	<b>Data de defesa:</b> 14/06/2017	<b>Hora da defesa:</b> 14:30:00

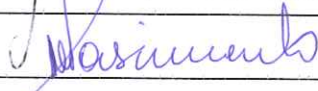
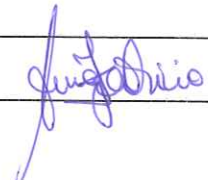
Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passou a palavra aos examinadores para as devidas arguições. Em seguida, a Comissão Julgadora proclamou o resultado:

Membros da Comissão Julgadora	Vínculo	Sigla Unidade	Nota
Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto	SEP	EESC	9.0
Marcelo Aparecido Chinelatto	SMM	EESC	9.0
Diogo Ferraz	SEP	EESC	9.0

<b>Média=</b> 9.0 (Nove)		
<b>Resultado final</b>	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovado	<input type="checkbox"/> Reprovado

Eu, Arya My G. Fabricio, lavrei o presente relatório que assino com os(as) senhores(as). São Carlos, 14/06/2017.

 Marcelo Aparecido Chinelatto	 Diogo Ferraz
---	--

 Daisy Aparecida do Nascimento Rebelatto	
--	--

## AGRADECIMENTOS

A conclusão desse trabalho e, conseqüentemente, da minha graduação não seria possível sem a contribuição e a participação de diversas pessoas que fizeram parte dessa intensa etapa da minha vida.

Gostaria de agradecer, primeiramente, aos meus pais e meu irmão que tiveram uma grande parcela na minha formação pessoal e acadêmico pelas inúmeras oportunidades e sobretudo pela insistência e incentivo durante toda a minha vida.

Sou muito grato à minha orientadora, Professora Daisy Rebelatto, pela oportunidade de realizar esse trabalho e pela confiança apresentada a todo instante.

Agradeço também a colega e mestranda, Jessica Campoli, por me ajudar e auxiliar durante a caminhada desse trabalho com inúmeras dicas e contribuições.

Ao doutorando, Diogo Ferraz, por contribuir com as alterações necessárias para a finalização desse trabalho.

À minha namorada por estar ao meu lado e ser compreensiva a todo momento, espero retribuir com o mesmo empenho e carinho quando chegar a sua vez de concluir a graduação.

Aos meus amigos de Jundiaí, de São Carlos e do Intercâmbio por fazerem parte dessa etapa e contribuírem de maneira imensurável ao meu crescimento pessoal e acadêmico.

Muito obrigado à Universidade de São Paulo e aos funcionários e docentes pelo suporte e aprendizado passado durante a minha graduação.

## RESUMO

DINIZ, R. R. **A eficiência dos principais países produtores de papel e celulose para economia circular**. 85f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia de Materiais, Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017.

O modelo contemporâneo econômico se encontra defasado e conflitante com o desenvolvimento sustentável. Embora satisfaça o mercado temporariamente, é incompatível com uma estratégia de longo prazo, que visa à preservação do meio ambiente e a qualidade de vida. Desse modo, busca-se o equilíbrio entre o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável. Uma das alternativas para essa mudança dos padrões de produção e consumo é a Economia Circular. Pautada em um modelo restaurativo e regenerativo, sua finalidade é manter produtos, componentes e materiais em alto nível de utilidade e valor, buscando dissociar o progresso econômico do consumo de recursos finitos. Para alcançar isto, os setores estratégicos têm investido cada vez mais em soluções para o descarte final dos produtos, como é o caso da reciclagem de materiais. O objetivo do presente trabalho é avaliar a eficiência dos principais países produtores de papel e celulose no âmbito da Economia Circular. O método aplicado foi a Análise Envoltória de Dados ou *Data Envelopment Analysis* (DEA) e a Análise de Janela, a partir de um modelo BCC. As variáveis foram validadas por meio da econometria (matriz de correlação e regressão linear). A análise dos oito maiores produtores mundial de papel e celulose entre 2011 e 2015 demonstrou uma variação da eficiência, sobretudo, na produção de papel reciclado, sendo necessário adotar práticas mais sustentáveis e os conceitos da Economia Circular, a fim de melhorar a eficiência dos países nesse setor.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento sustentável. Economia Circular. Papel e Celulose. Eficiência. Análise Envoltória de Dados.

## ABSTRACT

DINIZ, R. **The efficiency of the main pulp and paper producing countries for circular economy.** 85f. Monograph (Coursework final) - Department of Materials Engineering, School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2017.

The contemporary economic model is obsolete and conflicting with sustainable development. While satisfying the market temporarily, it is incompatible with a long-term strategy designed to preserve the environment and the quality of life. In this way, it seeks the balance between economic growth and sustainable development. One of the alternatives for this change in production and consumption patterns is the Circular Economy. Based on a restorative and regenerative model, its purpose is to keep products, components and materials at a high level of utility and value, seeking to dissociate economic progress from the consumption of finite resources. To achieve that, the strategic sectors have increasingly invested in alternatives to the final disposal of products, as is the case of material recycling. The objective of this work is to evaluate the efficiency of the main pulp and paper producing countries for the Circular Economy. The method applied was Data Envelopment Analysis (Data Involvement Analysis or DEA) in conjunction with Economic Validation and Window Analysis, using the BCC model and analyzing the results of the countries in question in 2011 and 2015. The results demonstrate a variation Efficiency, especially in the production of recycled paper, and it is necessary to adopt more sustainable practices and the concepts of the Circular Economy in order to improve the efficiency of the countries in this sector.

**Key-words:** Sustainable development. Circular Economy. Paper and Pulp. Efficiency. Data Envelopment Analysis.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas do procedimento desse trabalho .....	19
Figura 2: Possíveis caminhos da celulose após a sua produção .....	21
Figura 3: Ilustração da Celulose .....	22
Figura 4: Principais indicadores do segmento de celulose .....	25
Figura 5: Principais indicadores do segmento de papéis .....	26
Figura 6: Distribuição geográfica das principais unidades produtoras de painéis de madeira reconstituída .....	27
Figura 7: Etapas da reciclagem do papel .....	30
Figura 8: Principais fontes da Economia Circular .....	32
Figura 9: Ciclo da Economia Circular .....	33
Figura 10: Definições da Economia Circular .....	34
Figura 11: Etapas do método DEA .....	44
Figura 12: Fluxograma para aplicação do DEA .....	45
Figura 13: Classificação dos tipos de variáveis para análise de eficiência.....	46
Figura 14: Fluxograma da correlação dos modelos 1, 2 e 3 .....	49
Figura 15: Fluxograma do modelo 4 .....	49



## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Principais modelos DEA na forma dos multiplicadores e do envelope .....	42
---	----

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Histórico da produção e consumo de celulose no Brasil, 2005-2015. ....	25
Gráfico 2: Histórico da produção e consumo de papel no Brasil, 2005-2015. ....	27
Gráfico 3: Evolução da taxa de reciclagem de papéis no Brasil, 2007-2015. ....	29

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Modelos de Eficiência elaborados .....	48
Tabela 2: Matriz de correlação do modelo 1 .....	54
Tabela 3: Regressão Linear da Madeira para celulose - Modelo 1.....	54
Tabela 4: Eficiência, média total e o ranking da análise de janela do modelo 1. ....	55
Tabela 5: Eficiência e ranking ordenados do modelo 1.....	55
Tabela 6: Matriz de correlação do modelo 2 .....	55
Tabela 7: Regressão Linear dos outputs em relação ao input do Modelo 2 .....	56
Tabela 8: Eficiência, média total e o ranking da análise de janela do modelo 2 .....	56
Tabela 9: Eficiência e ranking ordenados do modelo 2.....	57
Tabela 10: Matriz de correlação do modelo 3 .....	57
Tabela 11: Regressão Linear: valores do $R^2$ ajustado dos outputs em relação ao input do modelo 3 .....	58
Tabela 12: Eficiência, média total e o ranking da análise de janela do modelo 3 .....	58
Tabela 13: Eficiência e ranking ordenados do modelo 3.....	59
Tabela 14: Matriz de correlação do modelo 4 .....	59
Tabela 15: Regressão Linear: valores do $R^2$ ajustado dos outputs em relação ao input do modelo 4 .....	59
Tabela 16: Eficiência, média total e o ranking da análise de janela do modelo 4 .....	60
Tabela 17: Eficiência e ranking ordenados do modelo 4.....	60
Tabela 18: Input e Outputs do modelo 1 em 2011.....	68
Tabela 19: Input e Outputs do modelo 1 em 2012.....	68
Tabela 20: Input e Outputs do modelo 1 em 2013.....	68
Tabela 21: Input e Outputs do modelo 1 em 2014.....	69
Tabela 22: Input e Outputs do modelo 1 em 2015.....	69
Tabela 23: Input e Outputs do modelo 2 em 2011.....	69
Tabela 24: Input e Outputs do modelo 2 em 2012.....	70
Tabela 25: Input e Outputs do modelo 2 em 2013.....	70
Tabela 26: Input e Outputs do modelo 2 em 2014.....	70
Tabela 27: Input e Outputs do modelo 2 em 2015.....	71
Tabela 28: Input e Outputs do modelo 3 em 2011.....	71
Tabela 29: Input e Outputs do modelo 3 em 2012.....	71
Tabela 30: Input e Outputs do modelo 3 em 2013.....	72

Tabela 31: Input e Outputs do modelo 3 em 2014.....	72
Tabela 32: Input e Outputs do modelo 3 em 2015.....	72
Tabela 33: Input e Outputs do modelo 4 em 2011.....	73
Tabela 34: Input e Outputs do modelo 4 em 2012.....	73
Tabela 35: Input e Outputs do modelo 4 em 2013.....	73
Tabela 36: Input e Outputs do modelo 4 em 2014.....	74
Tabela 37: Input e Outputs do modelo 4 em 2015.....	74
Tabela 38: Resultado da análise de janela do Brasil no modelo 1.....	75
Tabela 39: Resultado da análise de janela do Canadá no modelo 1.....	75
Tabela 40: Resultado da análise de janela da China no modelo 1.....	75
Tabela 41: Resultado da análise de janela dos Estados Unidos no modelo 1.....	76
Tabela 42: Resultado da análise de janela da Finlândia no modelo 1.....	76
Tabela 43: Resultado da análise de janela da Indonésia no modelo 1.....	76
Tabela 44: Resultado da análise de janela do Japão no modelo 1.....	77
Tabela 45: Resultado da análise de janela da Suécia no modelo 1.....	77
Tabela 46: Resultado da análise de janela do Brasil no modelo 2.....	77
Tabela 47: Resultado da análise de janela do Canadá no modelo 2.....	78
Tabela 48: Resultado da análise de janela da China no modelo 2.....	78
Tabela 49: Resultado da análise de janela dos Estados Unidos no modelo 3.....	78
Tabela 50: Resultado da análise de janela da Finlândia no modelo 2.....	79
Tabela 51: Resultado da análise de janela da Indonésia no modelo 2.....	79
Tabela 52: Resultado da análise de janela do Japão no modelo 2.....	79
Tabela 53: Resultado da análise de janela da Suécia no modelo 2.....	80
Tabela 54: Resultado da análise de janela do Brasil no modelo 3.....	80
Tabela 55: Resultado da análise de janela do Canadá no modelo 3.....	80
Tabela 56: Resultado da análise de janela da China no modelo 3.....	81
Tabela 57: Resultado da análise de janela dos Estados Unidos no modelo 3.....	81
Tabela 58: Resultado da análise de janela da Finlândia no modelo 3.....	81
Tabela 59: Resultado da análise de janela da Indonésia no modelo 3.....	82
Tabela 60: Resultado da análise de janela do Japão no modelo 3.....	82
Tabela 61: Resultado da análise de janela da Suécia no modelo 3.....	82
Tabela 62: Resultado da análise de janela do Brasil no modelo 4.....	83
Tabela 63: Resultado da análise de janela do Canadá no modelo 4.....	83
Tabela 64: Resultado da análise de janela da China no modelo 4.....	83

Tabela 65: Resultado da análise de janela dos Estados Unidos no modelo 4.....	84
Tabela 66: Resultado da análise de janela da Finlândia no modelo 4 .....	84
Tabela 67: Resultado da análise de janela da Indonésia no modelo 4.....	84
Tabela 68: Resultado da análise de janela do Japão no modelo 4.....	85
Tabela 69: Resultado da análise de janela da Suécia no modelo 4.....	85

## LISTA DE SIGLAS

- ABRE – Associação Brasileira de Embalagem
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel
- BCC – Banker, Charnes e Cooper
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CCR – Charnes, Cooper e Rhodes
- CRS – Constant Returns to Scale (Retornos Constantes de Escala)
- DEA – Data Envelopment Analysis (Análise Envoltória de Dados)
- DMU – Decision Making Units (Unidades Tomadoras de Decisão)
- EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
- EMF – Ellen MacArthur Foundation
- FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations
- IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores
- MATLAB – Matrix Laboratory
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
- PIB – Produto Interno Bruto
- SECEX – Secretaria de Comércio Exterior
- SBM – Slack Based Measure
- VRS – Variable Returns to Scale (Retornos Variáveis de Escala)

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	5
RESUMO.....	6
ABSTRACT .....	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE QUADROS .....	9
LISTA DE GRÁFICOS .....	10
LISTA DE TABELAS.....	11
LISTA DE SIGLAS.....	14
1. INTRODUÇÃO.....	17
2. SETOR DE PAPEL E CELULOSE .....	20
2.1. Celulose .....	20
2.2. Papel.....	23
2.3. Produção de Celulose e Papel no Brasil .....	24
2.3.1. Celulose e Papel .....	24
2.4. Reciclagem.....	28
2.4.1. Conceito .....	28
2.4.2. Reciclagem do Papel .....	28
2.4.3. Etapas da Reciclagem do Papel.....	29
3. ECONOMIA CIRCULAR .....	32
3.1. História.....	32
3.2. Conceito .....	32
3.2.1. Princípios Fundamentais .....	35
3.2.2. Características Fundamentais.....	35
3.2.3. Fontes de Criação de Valor .....	36
3.3. Economia Circular no Setor de Papel e Celulose .....	37
4. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS .....	39
4.1. Eficiência e Produtividade .....	39
4.2. Aspectos Gerais da DEA .....	40
5. MÉTODO .....	44
5.1. Procedimento para aplicação do método DEA .....	44
5.1.1. Etapa 1: Definição do conjunto de DMU's.....	45
5.1.2. Etapa 2: Definição das variáveis .....	46
5.1.3. Etapa 3: Definição do Modelo DEA .....	47
5.2. Modelos desenvolvidos.....	48

5.2.1. Modelo 1 .....	49
5.2.2. Modelo 2 .....	50
5.2.3. Modelo 3 .....	50
5.2.4. Modelo 4 .....	51
5.3. Validação Econométrica .....	51
5.4. Análise de Janela .....	52
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	54
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	61
REFERÊNCIAS .....	64
APÊNDICE I – TABELAS UTILIZADAS NA MODELAGEM DA DEA.....	68
APÊNDICE II – TABELAS DE RESULTADOS DA ANÁLISE DE JANELA .....	75



## 1. INTRODUÇÃO

O atual modelo de crescimento econômico, segundo Santana (2012), tem gerado preocupações e desconfianças por conta de seus impactos socioambientais. Uma vez que o desenvolvimento econômico está relacionado ao uso intensivo de recursos provenientes de fontes naturais limitadas, seus efeitos negativos se estendem a aspectos sociais, ambientais e econômicos.

De acordo com Lourenço e Chiaramonti (2015), nessa conjuntura, a natureza é colocada como um elemento subordinado a ordem econômica, um fator gerador de riqueza, que quanto mais explorada, maior é a chance de o país crescer economicamente. Por outro lado, os recursos naturais se mostram limitados e escassos, não podendo ser explorados de forma aleatória e sem limites.

Devido a esse conflito de escolha (*trade-off*), diversos são os questionamentos às nações, principalmente, àquelas consideradas desenvolvidas. As indagações se referem ao modo de crescimento sem, entretanto, limitar o desenvolvimento econômico (SANTANA, 2012).

O progresso de um país era medido por indicadores econômicos, os quais não são ideais para mensurar as consequências ambientais causados pela ação do homem. Para contornar essa situação, foi apresentado o conceito de desenvolvimento sustentável, na qual os fatores econômicos, sociais e ambientais são considerados de maneira compartilhada para avaliar um sistema como um todo (POPE et al., 2004).

Para Alier et al. (2010) e Schneider et al. (2010), a ideia principal do desenvolvimento sustentável é a diminuição da escala mundial de produção e consumo, na busca pelo bem-estar social e para a melhoria das condições ambientais. Tendo em vista que a sociedade atual está imersa em um círculo vicioso de produção e consumo sem limites, novos conceitos econômicos e inovações tecnológicas são apresentados, sobretudo, nos setores estratégicos.

Dessa forma, a economia contemporânea é fundamentada no modelo linear, ou seja, extração, fabricação, uso e descarte. Aplica-se, portanto, trabalho e energia para que os recursos naturais sejam extraídos, beneficiados e convertidos em produtos para serem comercializados e utilizados pelos consumidores. Porém, no final da cadeia produtiva, este produto é descartado como resíduo, tornando-se um problema para a sociedade (EMF, 2015).

Com o amplo uso do modelo linear, é gerada uma situação de grandes quantidades de resíduos, oriundos das diversas etapas dos ciclos de vida dos produtos, desde a cadeia produtiva

até a sua geração no pós-consumo. A partir dos estudos da Ellen MacArthur Foundation <sup>1</sup> (2015), as principais consequências desse processo são: a) desperdício de materiais na forma de resíduos e energia; b) degradação de ecossistemas, em razão do consumo além da capacidade ofertada pela natureza, comprometendo o ciclo natural de fornecimento de recursos naturais; e c) problemas econômicos, como a volatilidade dos preços, cuja as expectativas que podem gerar crises no mercado internacional de materiais.

Apresentado esse cenário, empresas e governos estão planejando mudanças para minimizar consumo de recursos, a preferência por recursos de fontes renováveis e a maximização do reaproveitamento dos resíduos gerados.

Uma alternativa ao modelo linear é o desenvolvimento do conceito conhecido como Economia Circular (EC), que busca manter produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo. Portanto, promove a mudança da economia de desperdício para a economia regenerativa e restauradora, procurando dissociar o desenvolvimento econômico global do consumo recorrente de recursos finitos.

No setor de papel e celulose, há aplicação desses conceitos, como é o caso da reciclagem de papel, criando uma expectativa de aumento das taxas de recuperação de papel pós-consumo, demandando assim, além de avanços tecnológicos nos processos de reciclagem, melhorias também nos processos de logística reversa.

Para avaliar a produtividade e a prática de reciclagem do setor de papel e celulose, uma forma é através do estudo da eficiência. Com isso, o objetivo desse trabalho é calcular a eficiência relativa dos principais países produtores de papel e celulose para a sustentabilidade. A análise será feita por meio da Análise Envoltória de Dados (DEA) no período entre 2011 a 2015.

Para isso, foram definidos os seguintes passos de procedimento (Figura 1):

---

<sup>1</sup> **Ellen MacArthur Foundation:** foi constituída em 2010, com o objetivo de acelerar a transição para a economia circular. Desde sua criação, a fundação tornou-se um dos líderes do pensamento global, inserindo a economia circular na agenda de tomadores de decisão no mundo dos negócios, governo e academia. Em 2016, assinou o convênio de Pioneer University da USP com o objetivo de formar uma comunidade de práticas na USP para desenvolver pesquisas para apoiar a transição à Economia Circular no Brasil.

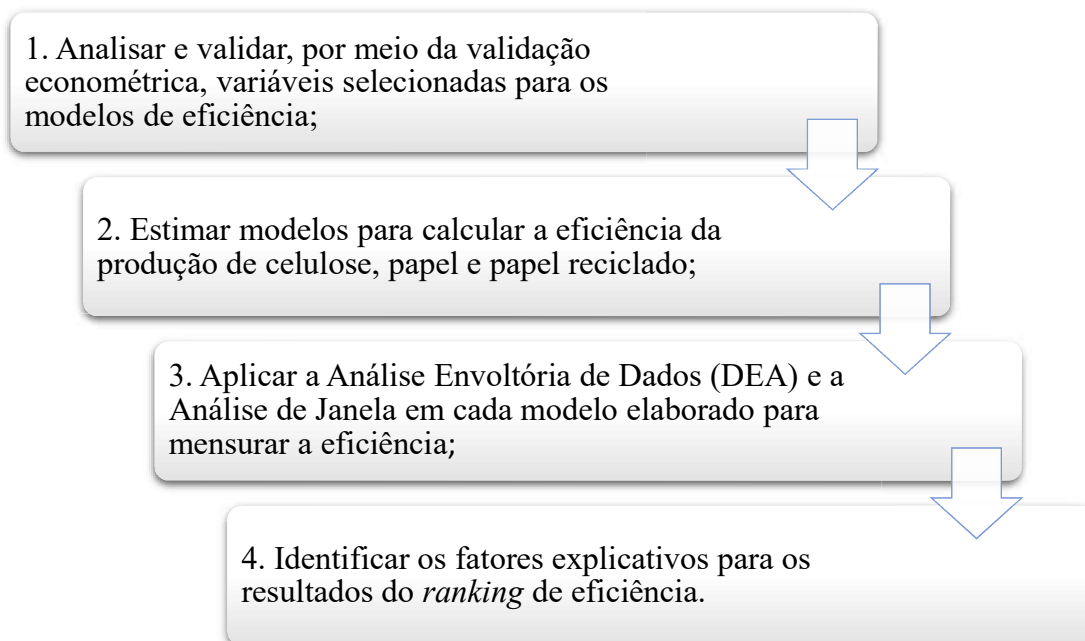


Figura 1: Etapas do procedimento desse trabalho

### **Estrutura do Trabalho**

Este trabalho de conclusão de curso está estruturado em seis seções. O Capítulo 1 é composto pela “Introdução”.

No Capítulo 2, intitulado de “Setor de Papel e Celulose”, são apresentados os conceitos básicos de papel, celulose e reciclagem. Também são descritos os processos de reciclagem do papel, além de apresentar dados nacionais sobre o setor.

No Capítulo 3, denominado “Economia Circular”, há a conceituação do modelo econômico circular e a descrição dos princípios, das características e dos valores fontes de criação de valor.

O Capítulo 4, denominado “Método”, mostra a base de dados, o procedimento de aplicação de Análise Envoltória de Dados a partir da seleção das DMU’s, das variáveis e do modelo.

No Capítulo 5, descrito como “Resultados”, há a validação de variáveis, a análise dos resultados obtidos utilizando a DEA e a Análise de Janela.

Por fim, tem-se Capítulo 6, intitulado “Considerações Finais”, que apresenta as conclusões e recomendações do trabalho.

## 2. SETOR DE PAPEL E CELULOSE

A indústria do papel é considerada um dos setores mais importantes da economia nacional, formado pelas indústrias de celulose, de papéis e de artefatos de papéis. Essas três indústrias e mais as florestas, a indústria de editoração e gráfica e ainda os segmentos distribuidores vinculados àquelas indústrias, constituem a cadeia produtiva da celulose e papel (MONTEBELLO E BACHA, 2011).

O Brasil, por sua vez, se destaca em todos esses setores. É um dos maiores produtores mundiais de papel e celulose, e a indústria desse setor é um dos principais consumidores da madeira proveniente da silvicultura, segundo a EPAGRI (2009). Dentre os tipos de papel com maior representatividade na produção brasileira estão os usados para embalagens e os papéis para imprimir e escrever.

Montebello e Bacha (2011) destacam que há uma grande concentração das empresas produtoras de papel nos estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, que são totalmente verticalizadas, isto é, atuam desde a etapa de reflorestamento até a de fabricação de papéis. Enquanto as empresas de pequena escala de operação compram a celulose no mercado para produzir papéis. Dentre as empresas produtoras de papel para embalagem estão: Adami S/A. Madeiras, Cartonificio Valinhos, Celulose Irani, Facepa - Fábrica de Papel da Amazônia, Iguaçu Celulose, Klabin, MD Papéis, MWV Rigesa e Primo Tedesco.

### 2.1. Celulose

Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ), no Brasil, as principais fontes de madeira usadas no processo de produção de celulose são obtidas pelas árvores plantadas de pinus e de eucalipto, sendo responsáveis por mais de 98% do volume produzido. A celulose também pode ser obtida de outros tipos de plantas, não-madeiras, como bambu, babaçu, sisal e resíduos agrícolas. Em 2015, o Brasil ocupou o quarto lugar no *ranking* dos países produtores de celulose de todos os tipos e como o principal produtor mundial de celulose proveniente da árvore de eucalipto.

A celulose é um carboidrato, de característica fibrosa, presente nos vegetais e encontrada nas raízes, tronco, folhas, frutos e sementes, sendo responsável por dar rigidez e firmeza às plantas. É o entrelaçamento dessas fibras que origina, por exemplo, o papel. A celulose pode ser classificada de acordo com o seu uso em: celulose de mercado ou celulose de integração. A celulose de mercado é quando a empresa que produz a celulose vende este

produto para que outra empresa produza o papel. Enquanto que a celulose integrada é quando a mesma empresa produz a celulose e também o papel. (CRUZ, 2016)

Após o cultivo, crescimento e colheita das árvores, a madeira é então descascada e picada em pequenos pedaços, conhecidos como cavacos. Na sequência, os cavacos obtidos passam por uma triagem, selecionando aquelas para remoção de lascas e serragens. Por fim, são submetidos a processos mecânicos e químicos para a produção de celulose.

De acordo com as pesquisas da IBÁ (2016), na primeira etapa da produção de celulose, os cavacos passam por um cozimento, em um equipamento conhecido como digestor, com a utilização de água, insumos químicos, pressão e temperaturas da ordem 150°C. O objetivo dessa etapa é separar as fibras de celulose da lignina, substância que une as fibras, aumentando a rigidez da parede celular vegetal e que constitui, juntamente com a celulose, a maior parte da composição da madeira das árvores e arbustos. Depois da separação, as fibras celulósicas formam uma pasta marrom que, na próxima etapa, passa por uma série de processo e reações químicas, responsáveis por depurar, lavar e branquear essa polpa até a alvura, isto é, brancura desejada. Após essas etapas, a celulose pode seguir dois caminhos ilustrados na Figura 2:

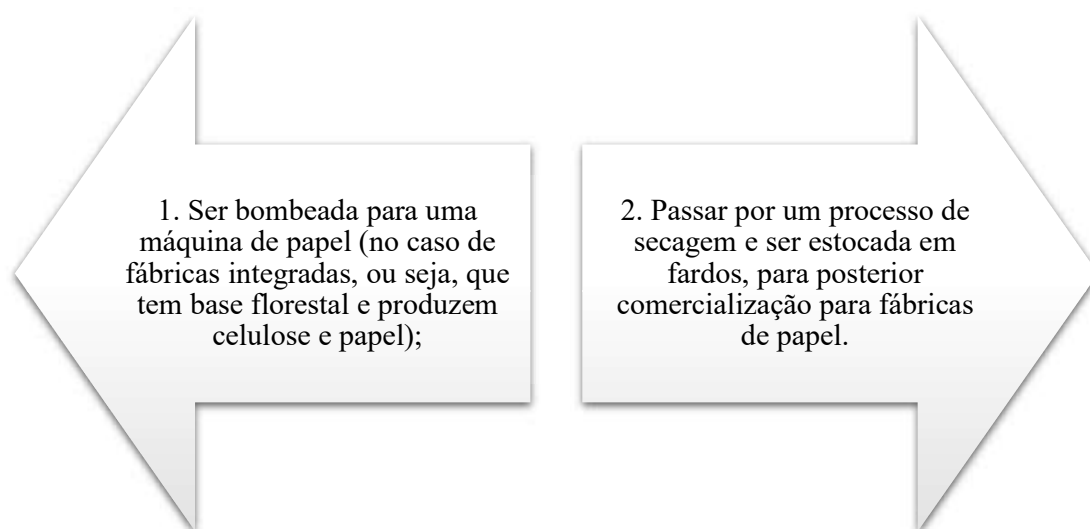


Figura 2: Possíveis caminhos da celulose após a sua produção

De acordo com a Associação Brasileira de Celulose e Papel (BRACELPA), existem dois tipos de celulose, com diferentes características físicas e químicas que são utilizadas na produção de papel: de fibra longa, entre 2 e 5 mm de comprimento, e de fibra curta, entre 0,5 e 1,5 milímetros de comprimento (Figura 3). A primeira é proveniente de espécies coníferas como o pinus e é utilizada, principalmente, na fabricação de papéis resistentes, como os de

embalagens, de papel cartão e de papel jornal. Já a celulose de fibra curta deriva das árvores do eucalipto. Essas fibras possuem menor resistência e maior maciez, por isso são ideais para a produção de papéis de imprimir, escrever e de fins sanitários (papel higiênico, papel toalha, guardanapo).

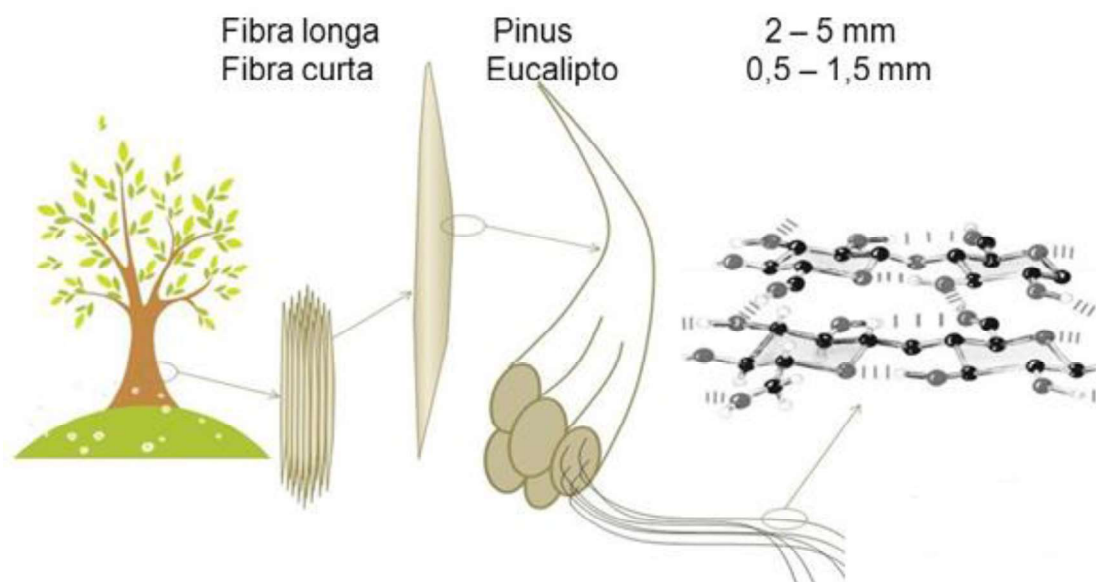


Figura 3: Ilustração da Celulose

Vale ressaltar que diferentemente de outros setores da economia nacional, o setor madeireiro, responsável pelo reflorestamento, gera a maior parte da energia que demanda. Em 2015, foram produzidos, a partir de energia limpa, 65,1 milhões de giga joules, o que representa 67% do consumo energético do setor. Além disso, os projetos de produção de celulose recentes, além de autossuficientes em energia, geram também um grande excedente para comercialização, cerca de 11,9 milhões, o que seria equivalente a uma hidroelétrica de médio porte (IBÁ, 2015).

Para ampliar a eficiência energética dos processos de produção de celulose, o setor de árvores plantadas utiliza para geração de energia térmica e elétrica subprodutos de seus processos, principalmente os provenientes de biomassa florestal e licor preto (subproduto do processo de produção de celulose).

## 2.2. Papel

A invenção da escrita é considerada o fator motivador e modificador das evoluções e alterações pelas quais passaram diversas bases (pedra, cerâmica, madeira, ossos, fios de tecidos, couro curtido e os metais e suas ligas, como o bronze), até se chegar no papel (ABTCP, 2004).

Para Sousa et al. (2016), o papel é o material mais usado para registrar informações. Com o avanço tecnológico e digitalização das informações, acreditava-se que o uso do papel diminuiria, principalmente nas indústrias e escritórios, no entanto, isso não ocorreu, uma vez que o consumo de papel nas duas últimas décadas do século XX foi crescente.

De acordo com a IBÁ, o papel produzido no Brasil tem origem nas árvores plantadas, um recurso essencialmente renovável. Além disso, o papel é reciclado, ou seja, grande parte retorna ao ciclo produtivo após o consumo. O setor avança com melhorias contínuas para uma produção mais limpa e de menor impacto. O Brasil é considerado um importante produtor mundial de papel, considerado o nono maior produtor do mundo. Além de abastecer o mercado interno, exporta produtos principalmente para países da América Latina, América do Norte e União Europeia.

Por ser um material orgânico e biodegradável o papel leva de 3 a 6 meses para se decompor, podendo chegar a 100 anos em aterros com pouca umidade. A indústria de papel é a responsável pela produção de papéis a partir da celulose (IBÁ, 2015).

Os papéis possuem variadas classificações, conforme suas características e uso. Os seguintes papéis são os mais utilizados, conforme estudos da IBÁ:

**1. Papéis para imprimir e escrever:** são os primeiros papéis que surgiram na história e tiveram a finalidade de servir à escrita. Com o passar dos anos, tornaram-se excelentes ferramentas para disseminação de ideias. São classificados em diferentes categorias: papel imprensa para jornal, papéis revestidos e não revestidos para livros, revistas e outras publicações; e papel para escrita e reprodução.

**2. Papéis para embalagens:** são papéis que têm a finalidade de proteger e acondicionar produtos. São moldados principalmente como caixas ou sacos, apresentando grande diversidade tanto para embalagens leves como pesadas. Esses papéis compõem embalagens para uma variada gama de produtos, desde remédios até gêneros alimentícios,

inclusive bebidas e congelados. Os tipos mais conhecidos são: papelão ondulado, papel *kraft*<sup>1</sup> e papel para embalagens leves.

**3. Papéis para fins sanitários:** também conhecidos de papéis *tissue*, são compostos por folhas ou rolas de baixa gramatura, usados para higiene pessoal e limpeza doméstica, como papel higiênico, lenços, papel-toalha e guardanapos. Além das fibras virgens, apresentam em sua composição o uso de aparas recicladas de boa qualidade.

**4. Papéis reciclados:** são considerados um tipo de papel para imprimir e escrever, mas devido a sua importância pode ser classificado a parte. Segundo a norma brasileira ABNT NBR 15755 (2009), o papel reciclado deve conter, no mínimo, 25% de aparas pós-consumo e, no máximo, 50% de celulose de fibra virgem. Normalmente, este tipo de papel tem cor natural, resultado da mistura das tintas de diversas cores e de fibras marrons presentes nos papéis recuperados, também chamados de aparas de papel. Usado em miolo de livros, revistas, convites, papelaria em geral, extratos bancários, blocos, cadernos, agendas, calendários, sacolas, entre outros.

### 2.3. Produção de Celulose e Papel no Brasil

#### 2.3.1. Celulose e Papel

Segundo a IBÁ, a produção de celulose brasileira foi de 17,4 milhões de toneladas em 2015, sendo este montante superior em 5,5% em relação à produção obtida em 2014. O volume exportado atingiu 11,5 milhões de toneladas, representando um aumento de 8,6% se comparado a 2014. Por outro lado, o volume consumido no mercado interno foi de 6,3 milhões de toneladas, considerando uma importação de 400 mil toneladas, representando uma estabilidade em relação ao ano anterior. Esses resultados consolidam o Brasil como um dos maiores produtores de celulose do mercado, ocupando a quarta posição no *ranking* mundial (Figura 4).

---

<sup>1</sup> **Papel kraft:** é um tipo de papel fabricado a partir de uma mistura de fibras de celulose curtas e longas, provenientes de polpas de madeiras macias. É utilizado para produzir sacos e sacolas, envelopes para correspondência e cartonagens diversas



## Principais indicadores do segmento de celulose



Figura 4: Principais indicadores do segmento de celulose

Fonte: IBÁ, SECEX, FAO E POYRY (2015)

No período entre 2005 a 2015, a produção nacional de celulose aumentou em 7,0 milhões de toneladas, representando uma taxa anual de crescimento de 5,2% (Gráfico 1). Esse incremento foi acompanhado pelo aumento das exportações para os países da Europa e para a China, enquanto o consumo interno apresentou pouca variação.



Gráfico 1: Histórico da produção e consumo de celulose no Brasil, 2005-2015

Fonte: IBÁ, SECEX E POTRY (2015)

Em relação à produção brasileira de papel, o Brasil chegou a quantidade de 10,4 milhões de toneladas em 2015, sendo este valor 0,4% menor que o ano de 2014. A justificativa para esse fraco desempenho está relacionada a retração das vendas internas, que ficaram 4,7% menor do que o volume registrado em 2014. Com esses resultados, o Brasil ocupou o 9º lugar no ranking dos maiores produtores – posição muito semelhante ao dos maiores consumidores de papel –, devido à necessidade das indústrias papelarias de se concentrarem próximas aos seus mercados consumidores (Figura 5).



Figura 5: Principais indicadores do segmento de papéis

Fonte: IBÁ, SECEX, FAO E POYRY (2015)

No período entre 2005 a 2015, a produção nacional de papel registrou um aumento de 1,8 milhões de toneladas, o que representa uma alta de 1,9% a.a. no período, impulsionado pela demanda interna, que cresceu à taxa média de 2,3% a.a. (Gráfico 2). Porém, se considerado apenas o último ano, houve desaceleração.



Gráfico 2: Histórico da produção e consumo de papel no Brasil, 2005-2015

Fonte: IBÁ, SECEX E POTRY (2015)

A maior parte das empresas brasileiras produtoras de celulose e/ou papel estão localizadas próximas ao mercado consumidor nas regiões Sul e Sudeste do país, como é mostrado na Figura 6.

#### Distribuição geográfica das principais unidades produtoras de painéis de madeira reconstituída



Figura 6: Distribuição geográfica das principais unidades produtoras de painéis de madeira reconstituída

Fonte: IBÁ E POYTRY (2015)

## 2.4. Reciclagem

### 2.4.1. Conceito

A palavra reciclar é proveniente do inglês *recycle* (re = repetir, e cycle = ciclo). Esse vocábulo apareceu na década de 1970, devido à preocupação com questões ambientais, ressaltando a necessidade de preservação do mesmo (SOUSA ET AL., 2016).

A reciclagem, do ponto de vista de Grippi (2006), é o resultado de uma série de atividades através das quais os materiais que se tornariam lixo ou estão no lixo, são desviados, sendo coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de outros bens, feitos anteriormente apenas com matéria-prima virgem.

Para Sousa et al. (2016), os principais fatores que motivam a reciclagem são: preservação de recursos naturais (matéria-prima, água, energia), minimizar a poluição, diminuir a quantidade de lixo nos aterros (destinação correta do lixo) e a geração de empregos.

Para que haja reciclagem, de acordo com O'Leary et al. (1999), o resíduo sólido terá que passar por um processo que envolve uma triagem na sua coleta, onde a sociedade e o poder público terão que investir em duas frentes: 1) em um sistema de coleta eficiente com locais apropriados para o descarte do material, entre outras medidas; 2) na conscientização da sociedade sobre a importância da reciclagem dos resíduos sólidos. Sob o ponto de vista econômico, a atividade reduz os custos de produção, distribui riquezas e promove a recuperação de matérias-primas que serão novamente inseridas no ciclo de consumo.

### 2.4.2. Reciclagem do Papel

A reciclagem é uma forma particular do reaproveitamento de matérias-primas, tais como: papel, plásticos, latas de alumínio e de aço, vidro, orgânicos e outros, na qual é produzida uma nova quantidade de materiais a partir do material captado no mercado e reprocessado para ser comercializado, havendo grandes economias em energia e matéria-prima.

Tem-se observado que uma grande quantidade de papel é recolhida diariamente dos cestos de lixo nos diversos ambientes de trabalho e até mesmo nas ruas, e que o destino desse material tem sido os lixões públicos.

Sabe-se, entretanto, que o papel usado é um material com grande possibilidade de reciclagem. Reciclando-o, pode-se diminuir o volume de resíduos ocasionado pelo uso

desmedido e ainda poupar árvores, pois a celulose é a matéria-prima para sua fabricação. Para cada tonelada de papel reciclado são poupadas aproximadamente vinte árvores. A reciclagem de papel, segundo Bellia (1996), leva a uma redução de energia para a produção de papel e celulose da ordem de 23% a 74%, redução na poluição do ar de 74%, redução na poluição da água em torno de 35% e redução de 58% no uso de água. Além do que, pode-se aliar proteção ao meio ambiente a resultados econômicos, sociais, ecológicos e de economia de recursos naturais através de uma destinação adequada do resíduo.

Em relação à reciclagem de papel, segundo a IBÁ, o Brasil figura entre os principais recicladores do mundo. Em 2015, estima-se que 4,6 milhões de toneladas retornaram ao processo produtivo, o que equivale a uma taxa de recuperação de 61% de todo o papel consumido passível de reciclagem (Gráfico 3). Vale ressaltar também o crescimento da taxa, sobretudo, em 2010 após a introdução da Política Nacional dos Resíduos Sólidos na legislação brasileiro. Houve um aumento de 6 milhões de toneladas entre 2010 e 2015.



Gráfico 3: Evolução da taxa de reciclagem de papéis no Brasil, 2007-2015

Fonte: IBÁ E POYRY (2015)

### 2.4.3. Etapas da Reciclagem do Papel

As etapas da reciclagem se remetem ao reaproveitamento do papel não funcional para produzir papel reciclado. A aceitação do papel reciclado é crescente, especialmente no mercado corporativo. Para ser produzido é preciso moer, molhar, tingir e secar o papel. A principal diferença está na necessidade da utilização de vários produtos químicos para retirar as impurezas do papel, como a solda cáustica, o que pode ser também perigoso para o meio ambiente, se não for feito de maneira correta.

Para ser reciclado, o papel não deve conter impurezas, como: barbante, metal, madeira e plástico. São proibitivos: papel vegetal; papel carbono; papel e cartão impregnados com substâncias impermeáveis à umidade, papel sujo, engordurado ou contaminado com produtos químicos nocivos à saúde; papel sanitário usado.

As etapas deste processo são demonstradas na Figura 7.

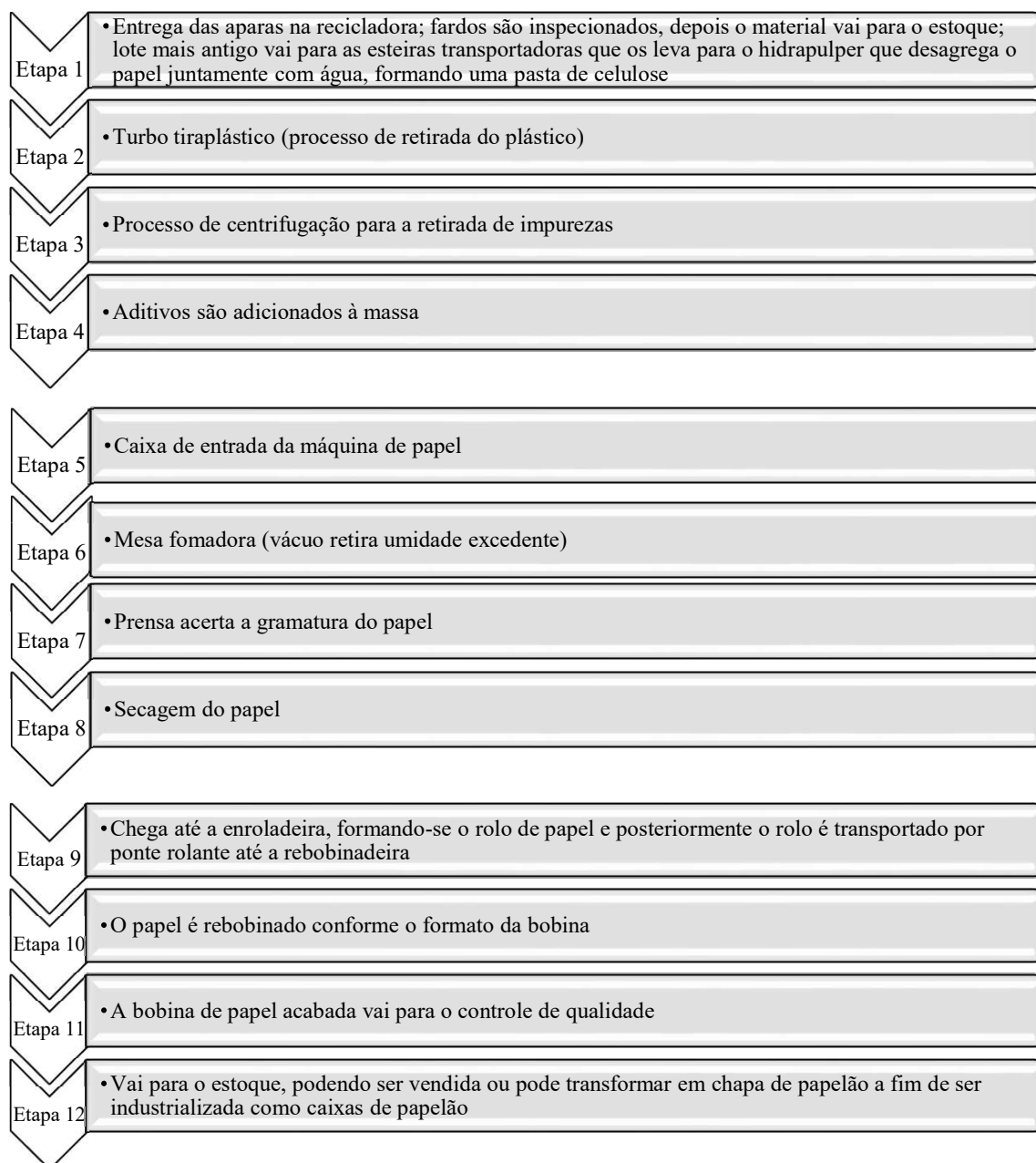


Figura 7: Etapas da reciclagem do papel

Fonte: Adaptado de Sousa et al. (2016)

Vale destacar que há um limite máximo de capacidade de reciclagem dos diferentes tipos de papel que depende de alguns fatores como: quantidade de vezes que a fibra poderá ser reciclada, a necessidade de adição de fibra virgem no processo de reciclagem assegurando padrões mínimos de qualidade, além do fato de que nem todo papel produzido retorna a cadeia.

### 3. ECONOMIA CIRCULAR

#### 3.1. História

O conceito conhecido como Economia Circular tem uma grande diversidade de origens, não sendo correto considerar a sua autoria por apenas um único (a) autor (a) ou período. Suas aplicações em sistemas econômicos modernos e processos industriais surgiram no final da década de 1970, ganhando destaque nos anos de 1990.

As principais fontes da economia circular estão descritas na Figura 8.

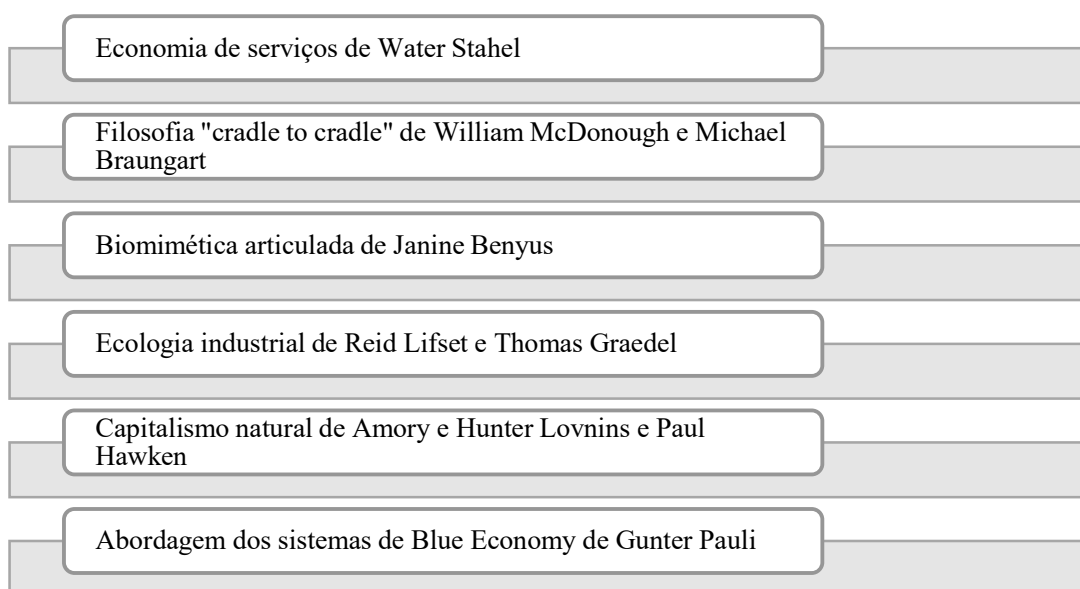


Figura 8: Principais fontes da Economia Circular

Para implementar e alcançar expressivos resultados, a fundação Ellen MacArthur foi constituída em 2010 com o objetivo e diretrizes de acelerar a transição do modelo linear para uma economia circular. Desde a sua criação, tornou-se uma das líderes do pensamento global nesse tema, inserindo o conceito de economia circular no pensamento estratégico dos tomadores de decisão das grandes empresas, governo e sociedade (EMF, 2015).

#### 3.2. Conceito

O modelo circular foi concebido do raciocínio de que é mais economicamente vantajoso e viável reutilizar, recuperar ou reciclar recursos o máximo de vezes possível do que



simplesmente extrair materiais virgens e limitar assim as fontes naturais do ecossistema. Tem-se uma contraposição de ideias em relação ao modelo tradicional e conservador linear. A economia linear é comumente conhecida como de extração de recursos, produção, utilização e pôr fim à disposição final do produto, enquanto a Economia Circular prevê, na fase final do ciclo, a recuperação e reincorporação dos resíduos, retornando ao ponto inicial do ciclo de vida do produto (Figura 9).

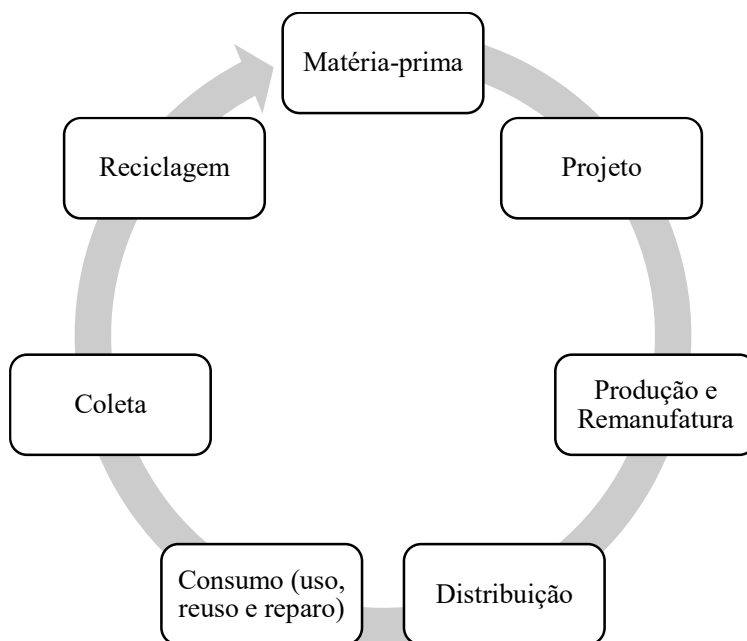


Figura 9: Ciclo da Economia Circular

Fonte: Adaptado da Comissão Europeia (2014)

Portanto, é correto considerar o modelo circular como uma economia restaurativa e regenerativa por princípio que objetiva sempre manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor, fazendo clara distinção entre ciclos técnicos e biológicos. O ciclo técnico é a gestão dos estoques de materiais finitos, sendo o uso substituído pelo consumo. Os materiais técnicos são recuperados e restaurados nesse ciclo. Por outro lado, o ciclo biológico é o fluxo de nutrientes biológicos, cujo destino deve ser a reincorporação nos ciclos bio-geo-químicos e constituição de novo capital natural (EMF, 2015). A Figura 10 ilustra as definições da Economia Circular.

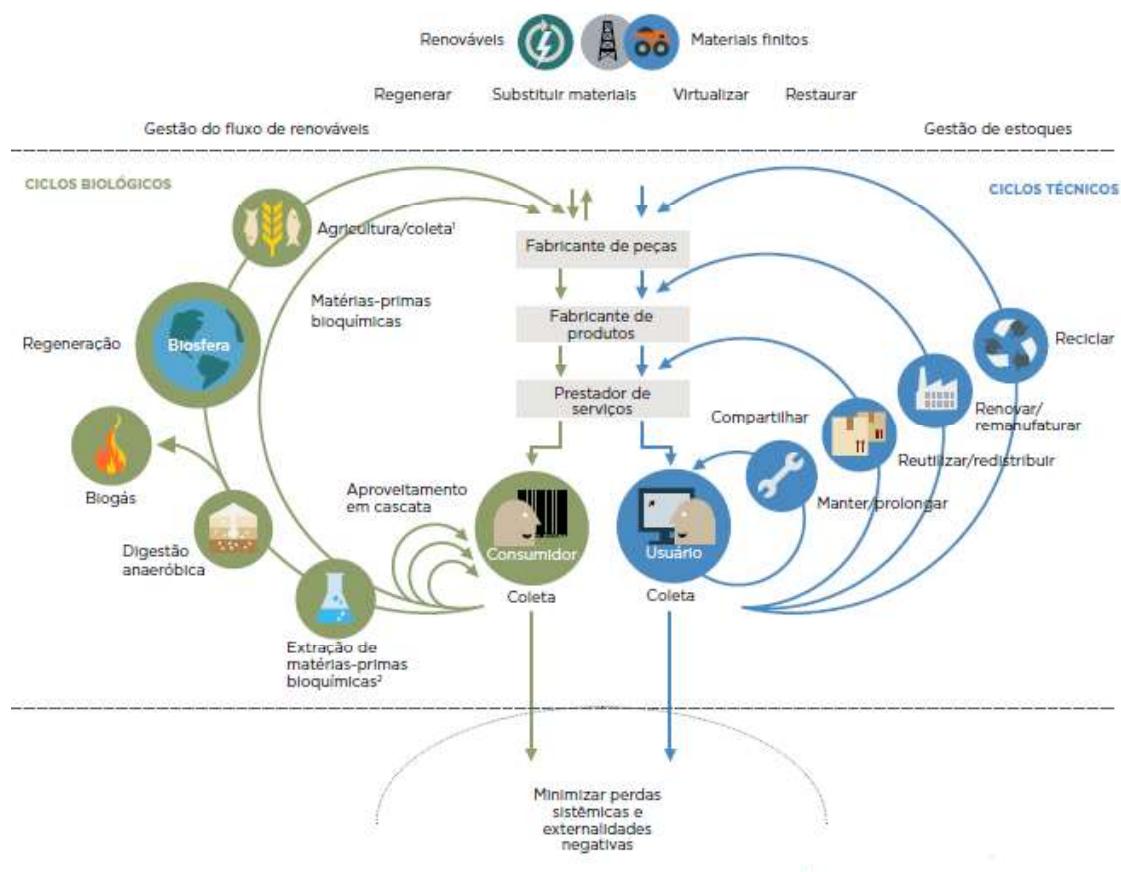


Figura 10: Definições da Economia Circular

Fonte: MacArthur Foundation (2015)

No lugar da extração de recursos naturais, que são utilizados uma única vez e posteriormente descartados, por exemplo, em aterros sanitários, esse modelo busca uma relação diferente, uma abordagem menos degradante ao ambiente e a sociedade. A reutilização, a recuperação e a reciclagem tornam-se pontos chave, promovendo inovações tecnológicas no mercado de materiais, principalmente, os reciclados, estimulando novos modelos de produção, o *Design for Environment* e outras iniciativas promissoras.

Entretanto, para que a economia tenda a ser circular é necessária a introdução de mudanças sociais, econômicas e ambientais, sobretudo, nas políticas públicas, nos modelos de negócios, na economia e no grau de conscientização e participação dos cidadãos e empresários.

### 3.2.1. Princípios Fundamentais

Segundo a Fundação Ellen MacArthur (2015), o modelo circular é sustentado por três princípios fundamentais que estão descritos a seguir:

- **Preservar e aprimorar o capital natural controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis:** se há necessidade de consumo de recursos naturais, o sistema circular irá selecioná-los de forma sensata e com responsabilidade, escolhendo tecnologias e cadeias produtivas que utilizam recursos renováveis ou de desempenho mais qualificado e menos degradante ao meio ambiente. A economia circular busca assim aprimorar o capital natural, estimulando fluxos de nutrientes dentro do sistema e criando as condições necessárias para a regeneração;
- **Otimizar o rendimento de recursos fazendo circular produtos, componentes e materiais no mais alto nível de utilidade o tempo todo, tanto no ciclo técnico quanto no biológico:** esse princípio visa projetar um produto pensando na sua remanufatura, renovação e reciclagem, de modo que componentes e materiais técnicos continuem circulando e contribuindo para a economia. Sistemas circulares buscam os menores ciclos, preservando, sobretudo, a energia sistêmica, assim otimizam o número de ciclos consecutivos e/ou o tempo dedicado a cada ciclo, prolongando a vida útil dos produtos e intensificando a reutilização. Os sistemas circulares também estimulam a reinserção segura de nutrientes biológicos na biosfera para decomposição, de modo a transformá-los em matérias primas valiosas para um novo ciclo;
- **Estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio:** nesse princípio, tem-se como foco principal a redução de danos a sistemas e áreas como alimentos, mobilidade, habitação, educação, saúde e entretenimento, e a gestão de externalidades, como uso da terra, ar, água e poluição sonora e da liberação de substâncias tóxicas.

### 3.2.2. Características Fundamentais

Em relação as características principais desse modelo, a Fundação Ellen MacArthur (2015) destaca os seguintes:

- **As perdas são “excluídas desde o princípio”:** a economia circular tem como característica marcante a redução ou eliminação de perdas, seja por resíduos, seja por energia. Os materiais biológicos não são tóxicos, sendo facilmente devolvidos ao solo, por processo de compostagem ou digestão anaeróbia. Enquanto os materiais técnicos – materiais criados artificialmente pelo homem – são projetados para serem recuperados, renovados e atualizados, minimizando o consumo energético e maximizando a retenção de lucros e de recursos naturais;
- **A diversidade faz a força:** a diversidade é valorizada como forma de fortalecer o modelo, sendo um fator fundamental para a versatilidade e a resiliência. As economias precisam de equilíbrio entre negócios de vários portes para terem sucesso no longo prazo. As grandes empresas proporcionam volume e eficiência, ao passo que os pequenos negócios oferecem modelos alternativos em épocas de crise;
- **Fontes de energias renováveis movem a economia:** a energia renovável é um dos fatores para reduzir a dependência dos recursos e aumentar a resiliência dos sistemas;
- **Pensamento sistêmico:** na economia circular, o pensamento sistêmico está atrelado aos diversos elementos do mundo real, como empresas e pessoas, fazendo parte de sistemas complexos nos quais diferentes partes estão fortemente ligadas a cada uma das outras. Para uma transição efetiva para a economia circular, esses vínculos e consequências são levados em consideração constantemente;
- **Preços ou outros mecanismos de *feedback* devem refletir os custos reais:** na economia circular, preços funcionam como mensagens e, portanto, precisam refletir todos os custos para serem efetivos. Os custos totais de externalidades negativas são revelados e levados em conta e subsídios perversos são removidos. A falta de transparência das externalidades são uma barreira à transição para a economia circular.

### 3.2.3. Fontes de Criação de Valor

As principais fontes de criação de valor, de acordo com a Fundação Ellen MacArthur (2015), são detalhadas a seguir:

- **O poder dos círculos menores:** quanto menor é o círculo a ser percorrido por um material, maiores os ganhos e mais valiosa é a estratégia. Assim, quanto mais próximo do ponto de geração da cadeia de valor estiver o reaproveitamento, maiores os ganhos de energia, emissões e outras externalidades, principalmente considerando as perdas em cada etapa;
- **O poder dos círculos mais longos:** quanto mais tempo um fluxo material circular no sistema econômico, maior a maximização dos benefícios advindos dos seus respectivos custos de extração. Refere-se à maximização do número de ciclos e/ou do tempo de cada ciclo para os produtos. Cada ciclo prolongado evita o consumo de material, energia e mão de obra envolvidos na criação de um novo produto ou componente;
- **O poder do uso em cascata e da substituição das partes:** esgotadas as possibilidades de reuso dos produtos, deve-se buscar as alternativas de reparação, remanufatura e reciclagem material. A criação de valor ficaria condicionada aos menores custos marginais para o uso do material secundário, em comparação com o virgem;
- **O poder dos insumos puros, não-tóxicos e segregáveis:** tanto para reutilização ou para reaproveitamento, é fundamental reduzir a contaminação. A circulação dos materiais é maximizada quando as substâncias são puras, e os produtos de maior qualidade. O fluxo de materiais não contaminados aumentam a eficiência da coleta e distribuição, ao mesmo tempo em que mantêm a qualidade, particularmente dos materiais técnicos, que por sua vez incrementa a longevidade do produto e, assim, aumenta a produtividade do material.

### 3.3. Economia Circular no Setor de Papel e Celulose

Os conceitos da Economia Circular podem ser aplicados em diversos setores estratégicos de um país. Assim como os demais setores, o setor de papel e celulose contribui para o fornecimento de produtos que visam contribuir com o cotidiano do ser humano.

Tanto a madeira, a celulose e o papel podem ser reaproveitados ao serem descartados, retornando assim a cadeia produtiva e contribuindo da mesma forma de quando foi introduzida na cadeia, isto é, no produto final ou de outra forma, participando de forma secundária. No primeiro caso, temos o papel que ao ser descartado, pode ser reciclado e utilizado na fabricação

de papel reciclado, sendo produto final novamente. Enquanto o segundo caso é frequente nos resíduos de madeira e celulose que podem ter uma destinação diferente do que a produção de papel. Tanto o resíduo de madeira quanto a celulose pode ser utilizado como fonte energética, atuando assim secundariamente na fabricação de novas celuloses

Em ambos os casos, é possível notar a atuação da Economia Circular, uma vez que os produtos descartados retornam ao ciclo produtivo, seja este ciclo técnico, seja este ciclo bio-geo-químico.

## 4. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

### 4.1. Eficiência e Produtividade

Para Moita (2012), é de interesse das organizações medir a eficiência e produtividade, pois são considerados indicadores de sucesso, medidas de desempenho na qual as unidades de produção são avaliadas. Assim, para que as organizações atinjam seus objetivos econômicos, sociais ou ambientais, devido à competitividade imposta às organizações na era da globalização e as constantes inovações tecnológicas, é preciso que as mesmas sejam consideradas eficientes, uma vez que lançam, no mercado consumidor, diversos produtos e serviços que são constantemente avaliados pelos consumidores e também pelas organizações concorrentes (BRUNETTA, 2004).

Uma das principais formas de identificar se uma organização é eficiente ou não, segundo Brunetta (2014), é compará-la com outras organizações do mesmo segmento de atividades. Se a empresa consegue gerar a mesma quantidade de produtos que as concorrentes, com a mesma quantidade de insumos, diz que ela é eficiente. Por outro lado, se a quantidade de produção diferiu, para uma mesma quantidade de insumos, ela é dita ineficiente.

Considerado a conjuntura econômica, pode-se definir a eficiência como a habilidade de maximizar a quantidade de bens produzidos (*outputs* ou saídas do sistema) em relação aos recursos utilizados (*inputs* ou entradas do sistema), ou capacidade de minimizar as entradas do sistema dado um certo nível de saídas do sistema a qual se almeja alcançar (BECKEMAN, 1979).

Portanto, existem diversas formas de eficiência, mas deve se atentar que esses conceitos de eficiência são relativos e expressos como uma porcentagem. As organizações que operam com as melhores práticas são 100% eficientes. Entretanto, as que não atingiram as melhores práticas, são ineficientes, isto é, representam um percentual abaixo de 100% (WILHELM, 2000).

A relação entre produtos gerados com o uso de um nível fixo de insumos é uma medida para se mensurar a produtividade de uma unidade de produção. Essa razão é fácil de computar se a unidade usa um único insumo para produzir um único produto. No entanto, é mais frequente as organizações usarem múltiplos insumos para produzirem múltiplos produtos. Em consequência disso, considera-se a produtividade como a razão entre produtos e insumos mais representativos resultando, então, a seguinte medida econômica de produtividade:

$$P = \frac{\sum_{j=1}^m p_j \cdot y_j}{\sum_{i=1}^n q_i \cdot x_i} \quad (1)$$

Onde  $y_j$  representa as quantidades dos produtos  $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$  e  $x_i$  representa as quantidades dos insumos  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  e  $p = (p_1, p_2, \dots, p_m)$  e  $q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$  representam pesos que refletem, respectivamente, as utilidades dos produtos e dos insumos, representadas pelos preços de mercado, quando existentes.

Porém, essa razão trouxe outra dificuldade, definir um conjunto de pesos  $p$  e  $q$  comuns para as variáveis de produtos e insumos,  $y_j$  e  $x_i$ , respectivamente. A dificuldade surge, pois sabe-se que os produtores, mesmo aqueles que atuam em uma mesma região, têm interpretações e visões diferentes, gerando dificuldades em se definir pesos para as variáveis.

Devido a esses empecilhos, surge a Análise por Envoltória de Dados (*Data Envelopment Analysis* – DEA), uma técnica de modelagem matemática para avaliar eficiência de organizações homogêneas, quando as mesmas possuem múltiplos insumos e produtos para os quais não se podem atribuir pesos.

#### 4.2. Aspectos Gerais da DEA

De acordo com a Engenharia de Produção, para analisar um sistema produtivo, é necessário determinar e relacionar o seus *inputs* e *outputs*, sendo a Pesquisa Operacional um dos pontos principais para o desenvolvimento de técnicas capazes de mensurarem a eficiência de um sistema (CHARNES et al., 1981).

Entre as técnicas de medição de eficiência, tem-se a Análise Envoltória de Dados que é empregada para calcular a eficiência (VILELA, 2004). A DEA foi desenvolvida e introduzida na literatura, em 1978, por Charnes, Cooper e Rhodes, após generalizarem os estudos de Farrell tanto no sentido de trabalhar com múltiplos insumos e múltiplos produtos, quanto na obtenção de um indicador que atendesse ao conceito de eficiência de Koopmans (1951), considerando a representatividade das variáveis de produtos e insumos. Foi originalmente projetada para uso como uma ferramenta para estimar a eficiência relativa em organizações sem fins lucrativos.

A DEA constitui-se em uma técnica de modelação matemática não paramétrica, que objetiva medir a eficiência relativa de um conjunto de unidades tomadoras de decisões, que são homogêneas, permitindo classificá-las em eficientes e ineficientes, gerando um único indicador de desempenho para cada unidade avaliada, a partir da razão ponderada entre produtos e insumos.



A DEA considera planos de operação observados para construir um espaço de possibilidades de produção delimitado por uma fronteira de eficiência definida pelos planos de operação de melhor desempenho. As unidades que compõem essa fronteira são consideradas eficientes, enquanto as unidades no interior são ineficientes e o grau de sua ineficiência é determinado pela distância até a fronteira.

A utilização da DEA para o cálculo da eficiência relativa de unidades tomadoras de produção (*Decision Making Units* – DMUs) requer um conjunto de DMUs como referência e pressupõe que os mesmos dispõem de processos tecnológicos similares, utilizando os mesmos tipos de insumos para gerar os mesmos tipos de produtos. Conforme Senr et al. (2007), a eficiência relativa de cada DMU é a razão da soma ponderada dos seus *outputs* pela soma ponderada dos seus *inputs*.

Para a utilização da DEA, de acordo com Nunamaker (1985), o número de DMUs a ser analisado deve ser ao menos três vezes a soma dos *inputs* e *outputs* escolhidos no modelo de eficiência. Além disso, as DMUs devem apresentar certa homogeneidade em suas funções. A escala de eficiência é medida de 0 a 1, sendo 1 o valor em que a DMU é considerada eficiente, pois se encontra na fronteira de produção.

Existem diferentes modelos que podem ser usados para implementar DEA. Esses modelos diferem de acordo com seus pressupostos, a saber: a) o tipo de rendimentos de escala; b) a orientação; e c) a forma como os *inputs* e *outputs* são combinados. Segundo Mariano e Rebelatto (2014), o tipo de retornos de escala designa os dois principais modelos DEA: CRS (Retornos Constantes à Escala) e o VRS ou BCC (Retornos Variáveis de Escala).

A hipótese do modelo CRS considera que os *outputs* variam proporcionalmente aos *inputs* em todas as regiões da fronteira (CHARNES et al., 1978). Contudo, este modelo não considera os ganhos de escala de um sistema, o que demonstra um limitante do modelo (MARIANO et al., 2015).

A hipótese do modelo VRS considera que a variação dos *outputs* não é necessariamente equiproporcional aos *inputs*, sendo que na fronteira existirão três regiões: crescente, em que os *outputs* crescem proporcionalmente mais que os *inputs*; constante, em que existe proporcionalidade; e decrescente, em que os *outputs* crescem proporcionalmente menos que os *inputs* (BANKER et al., 1984). O Quadro 1 mostra a formulação de base dos modelos BCC e CCR nas suas duas orientações.

Modelo	Forma dos multiplicadores	Forma do envelope
<b>CCR</b> (orientado ao input)	$MAX \sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{i0}$ Sujeito a: $\sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{j0} = 1$ $\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{jk} \leq 0, \text{ para } k=1, 2, \dots, h$	$MIN \theta$ Sujeito a: $\sum_{k=1}^h x_{jk} \cdot \lambda_k - \theta \cdot x_{j0} \leq 0, \text{ para } j=1, 2, \dots, n$ $\sum_{k=1}^h y_{ik} \cdot \lambda_k \geq y_{i0}, \text{ para } i=1, 2, \dots, m$
<b>CCR</b> (orientado ao output)	$MIN \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{j0}$ Sujeito a: $\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{i0} = 1$ $\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{jk} \leq 0, \text{ para } k=1, 2, \dots, h$	$MAX \eta$ Sujeito a: $\sum_{k=1}^h x_{jk} \cdot \lambda_k \leq x_{j0}, \text{ para } j=1, 2, \dots, n$ $\sum_{i=1}^m y_{ik} \cdot \lambda_k - \eta \cdot y_{i0} \geq 0, \text{ para } i=1, 2, \dots, m$
<b>BCC</b> (orientado ao input)	$MAX \sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{i0} + w$ Sujeito a: $\sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{j0} = 1$ $\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{jk} + w \leq 0, \text{ para } k=1, 2, \dots, h$ <i>w sem restrição de sinal</i>	$MIN \theta$ Sujeito a: $\sum_{k=1}^h x_{jk} \cdot \lambda_k - \theta \cdot x_{j0} \leq 0, \text{ para } j=1, 2, \dots, n$ $\sum_{k=1}^h y_{ik} \cdot \lambda_k \geq y_{i0}, \text{ para } i=1, 2, \dots, m$ $\sum_{k=1}^h \lambda_k = 1$
<b>BCC</b> (orientado ao output)	$MIN \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{j0} - w$ Sujeito a: $\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{i0} = 1$ $\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{ik} - \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{jk} + w \leq 0, \text{ para } k=1, 2, \dots, h$ <i>w sem restrição de sinal</i>	$MAX \eta$ Sujeito a: $\sum_{k=1}^h x_{jk} \cdot \lambda_k \leq x_{j0}, \text{ para } j=1, 2, \dots, n$ $\sum_{i=1}^m y_{ik} \cdot \lambda_k - \eta \cdot y_{i0} \geq 0, \text{ para } i=1, 2, \dots, m$ $\sum_{k=1}^h \lambda_k = 1$

Quadro 1: Principais modelos DEA na forma dos multiplicadores e do envelope

Fonte: Mariano e Rebelatto (2014)

Em que:

$x_{jk}$  : Quantidade do input j da DMU k;

$y_{ik}$  : Quantidade do output i da DMU k;

$x_{j0}$  : Quantidade do input j da DMU em análise;

$y_{i0}$  : Quantidade do input  $i$  da DMU em análise;  
 $v_j$  : Peso do input  $j$ ;  
 $u_i$  : Peso do output  $i$ ;  
 $\theta$ : Eficiência da DMU em análise;  
 $\eta$ : Inverso da Eficiência da DMU em análise;  
 $\lambda_k$  : Contribuição da DMU  $k$  para a meta da DMU em análise;  
 $m$ : Quantidade dos outputs analisados;  
 $n$ : Quantidade dos inputs analisados;  
 $h$ : Quantidade de DMUs analisadas;  
 $w$ : Tipo de retorno de escala.

Interpretação de  $w$ :

$w < 0$ : retornos crescentes de escala;  
 $w = 0$ : retornos constantes de escala;  
 $w > 0$ : retornos decrescentes de escala.

A orientação pode ser do tipo radial (CCR e BCC), ou não radial, encontrada nos modelos aditivos e multiplicativos. Os modelos radiais se concentram em minimizar inputs ou maximizar outputs de forma separada, dado que: a) os modelos orientados aos inputs procuram determinar, dado o atual nível de outputs, para quanto os inputs poderiam ser reduzidos; e b) os modelos orientados aos outputs procuram determinar, dado o atual nível de inputs, para quanto os outputs poderiam ser aumentados (COOPER et al., 2007). A orientação não radial visa, simultaneamente, reduzir os inputs e aumentar os outputs.

Tone (2001) desenvolveu um modelo não radial chamado Slack-Based Measure (SBM). Este modelo lida com variáveis de folga, isto é, com os excessos de inputs e a escassez de outputs. Segundo Choi et al. (2012), o SBM projeta as observações ao ponto mais distante da fronteira de eficiência, no sentido de minimizar a função objetivo em relação aos montantes máximos de folgas. Cooper et al. (2007) definiram o SBM como um modelo DEA aditivo, invariável em relação às unidades de medida utilizadas para os inputs e outputs. Isto significa que este modelo chega ao mesmo valor de eficiência, independente das unidades de medida adotadas para cada variável.

## 5. MÉTODO

Com a finalidade de obter uma avaliação comparativa da eficiência da produção de papel e celulose em países mundialmente reconhecidos neste setor, no período compreendido entre os anos de 2011 e 2015, foram realizadas várias análises com o intuito de verificar a posição do Brasil frente a esta avaliação comparativa.

### 5.1. Procedimento para aplicação do método DEA

Para aplicar o método DEA, de acordo com Golany e Roll (1989), é preciso satisfazer algumas condições: as organizações devem ser homogêneas, isto é, realizar as mesmas tarefas e possuírem os mesmos objetivos; as organizações devem atuar sob as mesmas condições de mercado; e por fim, os insumos e produtos devem ser os mesmos, apresentando variações quanto à intensidade ou magnitude.

Além dessas condições, é necessário seguir sequência de etapas demonstrados na Figura 11.

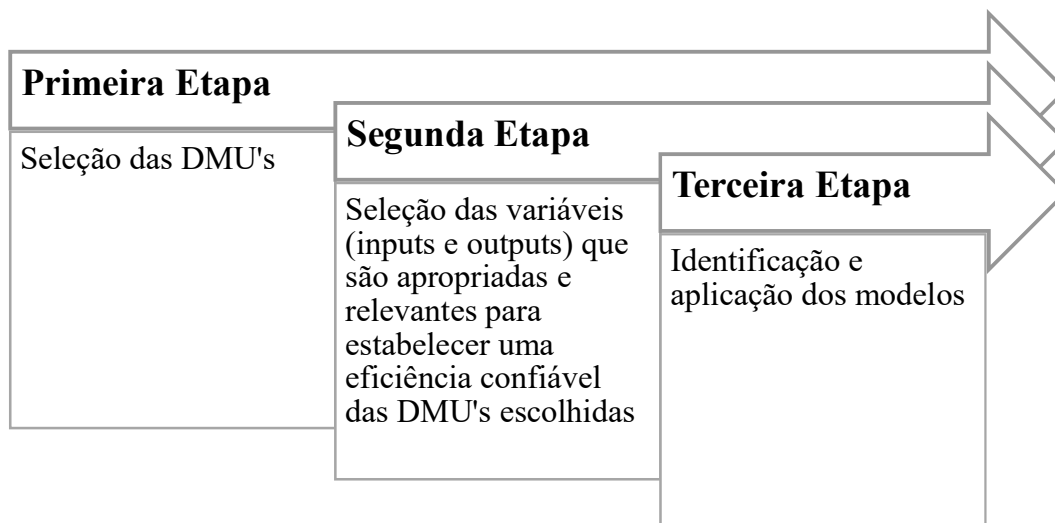


Figura 11: Etapas do método DEA

Fonte: Adaptado de Golany e Roll (1989)

A Figura 12 apresenta um fluxograma esquematizando o processo como um todo.

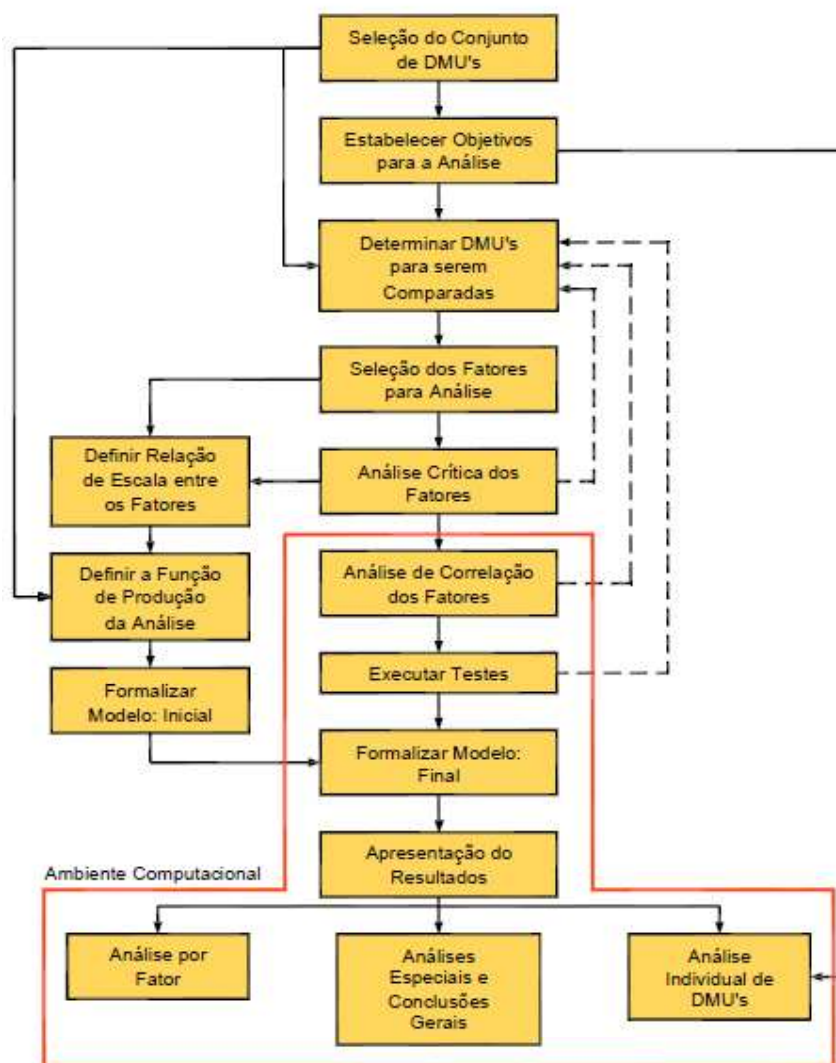


Figura 12: Fluxograma para aplicação do DEA

Fonte: Souza (2012)

### 5.1.1. Etapa 1: Definição do conjunto de DMU's

A aplicação dos modelos DEA requer a escolha de DMUs que sejam homogêneas, ou seja, realizam as mesmas tarefas, possuam os mesmos objetivos, trabalham com as mesmas condições de mercado e com as mesmas variáveis, diferenciando-se apenas em relação à intensidade ou magnitude da produção

Neste trabalho, as DMUs selecionadas são os países produtores de papel e celulose, porém optou-se por elencar um grupo de países de acordo com a capacidade produtiva, ou seja, foram selecionados os países que se situam tanto entre os dez maiores produtores de papel

quanto entre os dez maiores produtores de celulose. Assim, o conjunto de dados resultantes é composto por oito países: Brasil, Canadá, China, Estados Unidos, Finlândia, Indonésia, Japão e Suécia.

Após o levantamento de dados junto ao banco de dados da Food and Agriculture Organization of The United Nations (FAO) - 2017, observou-se que os oito países são homogêneos e possuem os dados de suas produções cadastrados desde 1961, mas optou-se por selecionar um período mais recente, um período de cinco anos consecutivos, de 2011 a 2015.

### 5.1.2. Etapa 2: Definição das variáveis

Após a seleção das DMUs, a próxima etapa da aplicação da DEA consiste na seleção das variáveis. O conjunto das variáveis, de acordo com Thanassoulis (1996), influencia diretamente no resultado da eficiência. Antes da escolha das variáveis, classificou-as em dois tipos, conforme o propósito da análise de eficiência (Figura 13).

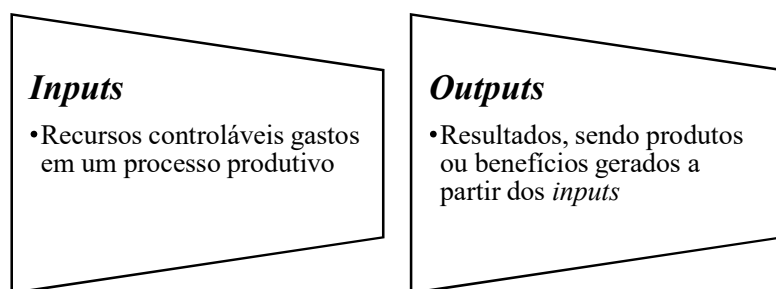


Figura 13: Classificação dos tipos de variáveis para análise de eficiência

Fonte: Adaptado de Mariano e Rebelatto (2014)

Além disso, a escolha das variáveis pode ser feita de dois métodos: através da opinião do interessado ou especialista ou utilização de análise de correlação, ou seja, uma técnica estatística para seleção das variáveis. Neste trabalho, escolheu-se o segundo método, uma vez que os bancos de dados utilizados apresentam uma vasta gama de informações, podendo assim inferir com maior precisão a eficiência do setor de papel e celulose, que como é um setor muito abrangente, apresenta diversas empresas multinacionais.

Em relação às variáveis escolhidas para aplicação dos modelos, foram escolhidas aquelas que melhor representam tanto os processos de produção da celulose quanto o de produção do papel. Essas variáveis podem ser observadas na Etapa 3 (Definição do Modelo

DEA), que apresenta os modelos desenvolvidos e as respectivas variáveis utilizadas, bem como as suas definições.

### 5.1.3. Etapa 3: Definição do Modelo DEA

A última fase de aplicação do DEA consiste na definição do modelo e posterior análise dos resultados.

O modelo DEA aplicado foi o BCC. Embora apenas os 8 maiores produtores de celulose e papel tenham sido escolhidos para este estudo, verifica-se que ainda há variação no nível de produção e na área florestal destes países. Ademais, as variáveis referentes ao mercado interno, por exemplo, o consumo de papel e celulose, também variam entre estes países. Neste aspecto, justifica-se a escolha do modelo BCC, que pressupõe retornos variáveis a escala.

Segue abaixo a formulação matemática para o modelo BCC:

$$\text{Max } P_0 = \sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{i0} + u \quad (1)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{j0} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m u_i \cdot y_{jk} + u - \sum_{j=1}^n v_j \cdot x_{jk} \leq 0 \text{ para } k = 1, 2, \dots, z \quad (3)$$

Em que:

$u_i$  = peso calculado para o produto  $i$

$v_j$  = peso calculado para o insumo  $j$

$x_{jk}$  = quantidade do insumo  $j$  para unidade  $k$

$y_{ik}$  = quantidade do produto  $i$  para unidade  $k$

$x_{j0}$  = quantidade do insumo  $j$  para unidade em análise

$y_{i0}$  = quantidade do produto  $i$  para unidade em análise

$z$  = número de unidades em avaliação

$m$  = número de tipos de produtos

$n$  = número de tipos de insumo

$u$  = coeficiente de retorno de escala, sem restrição de sinal

A partir desse modelo é possível verificar o retorno de escala da eficiência. Portanto, a unidade avaliada é considerada eficiente se  $u$  é igual 1 e se o conjunto de restrições é atendido. Logo, se  $u$  é igual zero, opera a rendimentos constantes a escala, se  $u$  é maior que zero, então opera a rendimentos crescentes e se  $u$  é menor que zero, decrescentes a escala.

## 5.2. Modelos desenvolvidos

Para a elaboração deste trabalho, foram desenvolvidos quatro modelos de eficiência para avaliar a produção de celulose, de papel e de papel reciclado. Na tabela 1 são apresentados os modelos de eficiência com as respectivas variáveis *input* e as variáveis *outputs*.

Tabela 1: Modelos de Eficiência elaborados

<b>Modelos de Eficiência</b>	
<b>Variável <i>input</i></b>	<b>Variáveis <i>output</i></b>
<b>Modelo 1</b>	
1) Madeira para celulose (m <sup>3</sup> )	a) Celulose (t)
<b>Modelo 2</b>	
1) Celulose disponível na indústria (t)	a) Imprimir e Escrever (t) b) Sanitários (t) c) Embalagens (t)
<b>Modelo 3</b>	
1) Papel (t)	a) Papel reciclado (t) b) Estoque de carbono na biomassa viva (milhões de t) c) Floresta plantada (mil ha)
<b>Modelo 4</b>	
1) Madeira para celulose (m <sup>3</sup> )	a) Papel reciclado (t) b) Estoque de carbono na biomassa viva (milhões de t) c) Floresta plantada (mil ha)

Para simplificar a visualização, os modelos e as suas correlações são apresentadas na Figura 14.



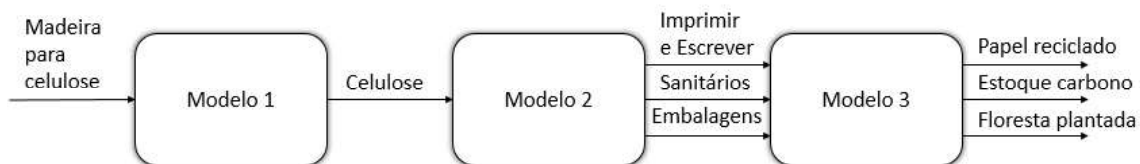


Figura 14: Fluxograma da correlação dos modelos 1, 2 e 3

Além desse fluxograma com as etapas do modelo 1 ao modelo 3, tem-se o fluxograma do modelo 4 na figura 15, que representa o processo direto, sem a etapa intermediária.



Figura 15: Fluxograma do modelo 4

### 5.2.1. Modelo 1

O primeiro modelo desenvolvido objetivou estabelecer a eficiência da produção de celulose dos países do conjunto de DMU's selecionados no período entre 2011 e 2015. O período de análise foi determinado para abranger um conjunto de dados que mostram a evolução recente do setor.

Nesse primeiro modelo, foram considerados dois fatores de avaliação, sendo um *input* e um *output*. Todos os valores utilizados nesta análise foram obtidos mediante consulta ao banco de dados da FAO e se encontram no Apêndice I.

*Input* (Entrada):

- Madeira para celulose (m<sup>3</sup>): área florestal da madeira do tipo conífera e do tipo não conífera, em metros cúbicos, para a produção de celulose;

*Output* (Saída):

- Celulose (t): quantidade de celulose produzida, em tonelada, devido ao processo mecânico e químico;

### 5.2.2. Modelo 2

No segundo modelo, objetivou estabelecer a eficiência da produção de papel dos países do conjunto de DMU's selecionados no período entre 2011 e 2015. O período de análise foi determinado para abranger um conjunto de dados que mostram a evolução recente do setor.

Para o modelo 2, foram considerados quatro fatores de avaliação, sendo um *input* e três *outputs*. Assim como no primeiro modelo, todos os valores utilizados nesse modelo foram obtidos mediante consulta ao banco de dados da FAO e se encontram no Apêndice I.

*Input* (Entrada):

- Celulose disponível na indústria (t): quantidade de celulose produzida devido ao processo mecânico e químico, acrescentado da quantidade importada e subtraído da quantidade exportada, em tonelada.

*Outputs* (Saídas):

- Papel para imprimir e escrever (t): quantidade de papéis produzidos para impressão e a escrita, em tonelada;
- Papel para fins sanitários (t): quantidade de papéis produzidos para fins higiênicos e sanitários, em tonelada;
- Papel para embalagem (t): quantidade de papéis produzidos para embalagens de produtos, em tonelada.

### 5.2.3. Modelo 3

O terceiro modelo buscou estabelecer a eficiência da produção de papel reciclado dos países do conjunto de DMU's compreendidos no período entre 2011 e 2015. O período de análise foi determinado para abranger um conjunto de dados que mostram a evolução recente do setor.

Para o modelo 3, foram considerados quatro fatores de avaliação, sendo um *input* e três *outputs*. Assim como no primeiro e segundo modelo, os valores usados nesse modelo foram adquiridos mediante pesquisa ao banco de dados da FAO e se encontram no Apêndice I.

*Input* (Entrada):

- Papel (t): quantidade de papéis produzidos para impressão e a escrita, para fins sanitários e para embalagens, em tonelada;

*Outputs* (Saídas):

- Papel reciclado (t): quantidade de papéis produzidos a partir da reciclagem de papéis descartados, em tonelada.
- Estoque de carbono na biomassa viva (milhões de t): quantidade de estoque de carbono na biomassa viva após a produção de papel, em milhões de tonelada.
- Floresta plantada (mil ha): área florestal plantada após o processo de produção de papel, em mil hectares.

#### 5.2.4. Modelo 4

No quarto último modelo, busca-se estabelecer a eficiência da produção de papel reciclado em relação a quantidade de madeira para celulose dos países do conjunto de DMU's compreendidos no período entre 2011 e 2015. O período de análise foi determinado para abranger um conjunto de dados que mostram a evolução recente do setor.

Nesse modelo, foram considerados quatro fatores de avaliação, sendo um *input* e três *outputs*. Assim como no primeiro e segundo modelo, os valores usados nesse modelo foram adquiridos mediante pesquisa ao banco de dados da FAO e se encontram no Apêndice I.

*Input* (Entrada):

- Madeira para celulose (m<sup>3</sup>): área florestal da madeira do tipo conífera e do tipo não conífera, em metros cúbicos, para a produção de celulose;

*Outputs* (Saídas):

- Papel reciclado (t): quantidade de papéis produzidos a partir da reciclagem de papéis descartados, em tonelada.
- Estoque de carbono na biomassa viva (milhões de t): quantidade de estoque de carbono na biomassa viva após a produção de papel, em milhões de tonelada.
- Floresta plantada (mil ha): área florestal plantada após o processo de produção de papel, em mil hectares.

#### 5.3. Validação Econométrica

A análise de correlação linear e a regressão linear simples foram as ferramentas utilizadas para validar as variáveis dos modelos de eficiência apresentados.

Para Hoffmann (2006), a análise de correção é uma ferramenta econométrica que permite a verificação da força e da direção do relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. Caso as variáveis estejam positivamente correlacionadas, isto significa que quanto maior uma variável, maior é a tendência da outra de aumentar, ou seja, são diretamente proporcionais. Por outro lado, quando as variáveis estão negativamente correlacionadas, isto significa que quanto maior uma variável, maior é a tendência da outra de diminuir, isto é, são inversamente proporcionais.

Em relação a análise de regressão linear simples, essa ferramenta permite prever o valor de uma variável (dependente), uma vez que é conhecido o valor da variável associada (independente). A variável dependente, nesse caso é um *output*, enquanto a variável independente é o *input* (KAZMIER, 1982).

Para esse trabalho, a regressão linear foi aplicada com a finalidade de verificar o grau de explicação (R-quadrado ajustado) entre o output e cada um dos inputs, através da seguinte expressão:

$$\log \gamma \text{ output} = \log \beta_0 + \log \beta \text{ input} + \varepsilon \quad (1)$$

Em que:  $\gamma$  é uma variável dependente;  $\beta_0$  é o intercepto;  $\beta \text{ input}$  é o coeficiente da variável;  $\varepsilon$  é o erro aleatório. Recomenda-se a utilização de uma regressão log-log, pois é possível interpretar os parâmetros como elasticidades (GREENE, 2011). Sob a perspectiva da DEA, a validação econométrica demonstra se existe alguma relação entre *inputs* e *outputs*.

#### **5.4. Análise de Janela**

Esse trabalho analisou o período de 2011 a 2015 e para incluir o fator temporal foi aplicado a Análise de Janela. Essa técnica, segundo estudos de Charnes et al. (1985), consiste na inserção de dados em um painel de uma DMU distribuídos em vários períodos a fim de analisar a evolução na eficiência técnica relativa.

A Análise de Janela é realizada a partir de várias aplicações da DEA ao considerar diferentes períodos. (CAMIOTO et al., 2014). Para encontrar o tamanho da janela e o número de janelas, são utilizadas as seguintes expressões descritas nos trabalhos de Cooper et al. (2000) e Camioto et al. (2014):

$$\text{Tamanho da janela: } p = \frac{(k+1)}{2} \quad (1)$$

$$\text{Número de janelas} = k - p + 1 \quad (2)$$

Nesse trabalho, será analisado o período 2011-2015, portanto ao aplicar as fórmulas acima, o tamanho de janela será  $p = 3$  e o número de janelas será equivalente a 3.

Posteriormente, a elaboração de cada janela, tem-se a aplicação da DEA para determinar a eficiência. O resultado final da eficiência de cada DMU será a média total das eficiências de todas as janelas para o período em análise. Além disso, o desvio padrão de cada DMU é uma forma de verificar a estabilidade das eficiências ao longo do período estudado (CAMIOTO et al., 2014).

## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Modelo 1

Para esse modelo, a matriz de correlação das variáveis é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Matriz de correlação do modelo 1

Variáveis	Madeira para celulose (m3)	Celulose (t)
Madeira para celulose (m3)	1	
Celulose (t)	0.942498903	1

A madeira para celulose se correlaciona em 0,94 com a celulose produzida, ou seja, há uma alta correlação e quanto maior o número de madeira, maior a produção de celulose.

Para análise de regressão linear simples, o resultado obtido do valor de  $R^2$  ajustado está compreendido na tabela 3.

Tabela 3: Regressão Linear da Madeira para celulose - Modelo 1

Variável	Coefficiente	Stat t	Valor-P
Interseção	-0.7201	-0.5161	0.61
Celulose (t)	1.1594	5.8954	0.00
R-quadrado ajustado		0.46	
F de significação		0.00	
Observações		40	

A regressão linear demonstra que a variável Celulose (t) explica a variável Madeira para celulose (m3), com nível de significância de 1%. Além disso, o  $R^2$  ajustado do modelo foi de 0,46, demonstrando que a variável independente explica 46% da variabilidade da variável dependente. Note que o modelo foi significativo ao nível de 1%.

A matriz de correlação e a análise de regressão validam as variáveis propostas para o Modelo 1 no DEA.

Na tabela 4 são apresentados os resultados finais das eficiências e da análise de janela para o período de 2011 a 2015.

Tabela 4: Eficiência, média total e o ranking da análise de janela do modelo 1.

Países	Análise de Janela					
	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Média (%)	Desvio Padrão	Ranking
Brasil	0.7029	0.7451	0.6177	68.86	0.19	4
Canada	0.7697	0.7697	1.0000	84.64	0.32	2
China	0.5182	0.5389	0.4303	49.58	0.16	7
Estados Unidos	1.0000	1.0000	1.0000	100.00	0.00	1
Finlândia	0.5422	0.5360	0.5447	54.09	0.02	6
Indonésia	0.5650	0.5678	0.3517	49.48	0.30	8
Japão	0.7018	0.7018	1.0000	80.12	0.41	3
Suécia	0.5720	0.5663	0.5929	57.71	0.04	5

O único país que apresentou eficiência nesse período foi os Estados Unidos. Por outro lado, todos os outros apresentaram ineficiência e resultados menores que 85%. Vale destacar que o Brasil apresentou resultado de 68,86% de eficiência, obtendo o quarto lugar no *ranking*. A tabela 5 sintetiza o *ranking* em ordem de eficiência.

Tabela 5: Eficiência e ranking ordenados do modelo 1

Países	Eficiência	Ranking
Estados Unidos	100	1
Canada	84,64	2
Japão	80,12	3
Brasil	68,86	4
Suécia	57,71	5
Finlândia	54,09	6
China	49,58	7
Indonésia	49,48	8

## Modelo 2

A tabela 6 traz aos resultados da matriz de correlação do modelo 2.

Tabela 6: Matriz de correlação do modelo 2

	Celulose	Imprimir e Escrever (t)	Sanitários (t)	Embalagens (t)
Celulose	1			
Imprimir e Escrever (t)	0.758533789	1		
Sanitários (t)	0.780011665	0.764150468	1	
Embalagens (t)	0.822099462	0.888488017	0.926155766	1

A partir da análise de variáveis, fica demonstrado que a celulose disponível na indústria se correlaciona em 0,75 com o papel destinado para imprimir e escrever, em 0,78 com o papel destinado a fins sanitários e em 0,82 com papel para embalagens. O aumento desses indicadores confirma a alta correlação entre a celulose e os papeis obtidos.

A Tabela 7 traz os resultados da análise de regressão linear.

Tabela 7: Regressão Linear dos outputs em relação ao input do Modelo 2

Variável	Imprimir e Escrever (t)			Sanitários (t)			Embalagens (t)		
	Coef.	Stat t	Valor-P	Coef.	Stat t	Valor-P	Coef.	Stat t	Valor-P
Interseção	1.25	1.61	0.11	-3.66	-2.90	0.01	-1.78	-1.81	0.08
Celulose (t)	0.79	7.17	0.00	1.38	7.68	0.00	1.25	8.90	0.00
R <sup>2</sup> ajustado	0.564199128			0.598113413			0.667317196		
F signif.	0.00			0.00			0.00		
Obs.	40								

Nesse modelo, as três regressões lineares demonstram ser significativas ao nível de 1%. A variável independente Celulose (t) foi explicativa e estatisticamente significativa (1%) para as variáveis dependentes Imprimir e Escrever (t), Sanitários (t) e Embalagens (t). Ademais, sempre se observou alto grau de explicabilidade (R<sup>2</sup>-Ajustado) acima de 50%. Isto significa que os papeis de imprimir e escrever, sanitários e embalagens podem ser explicados pela quantidade de celulose aplicada na produção, o que valida econometricamente o modelo DEA proposto neste trabalho. Os resultados do modelo 2, na tabela 8, mostram as eficiências e a análise de janela para o período entre 2011 e 2015

Tabela 8: Eficiência, média total e o ranking da análise de janela do modelo 2

Países	Análise de Janela					
	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Média (%)	Devio Padrão	Ranking
Brasil	0.8036	0.8705	0.8859	85.33	0.10	2
Canada	0.2826	0.2757	0.2792	27.92	0.01	7
China	1.0000	1.0000	1.0000	100.00	0.00	1
Estados Unidos	0.8476	0.8272	0.8305	83.51	0.02	3
Finlândia	0.6833	0.6870	0.6941	68.81	0.02	5
Indonésia	1.0000	1.0000	1.0000	100.00	0.00	1
Japão	0.6911	0.7014	0.7104	70.10	0.02	4
Suécia	0.3045	0.3107	0.3137	30.96	0.01	6

Os países que apresentaram eficiência nesse período foram a China e a Indonésia. Uma razão plausível para explicar esses resultados é a alta quantidade importada de celulose e uma



baixa quantidade exportada, portando produz quase tudo que possui. Por outro lado, com exceção do Brasil, os outros cinco países apresentaram valores abaixo de 85%. O Brasil obteve 85,33% e é ineficiente, pois é um país que apresenta um grande volume de exportação de celulose, assim boa parte da sua celulose produzida se encontra no estoque de outros países.

A tabela 9 apresenta o *ranking* ordenado da eficiência.

Tabela 9: Eficiência e ranking ordenados do modelo 2

Países	Eficiência	Ranking
China	100	1
Indonésia	100	1
Brasil	85,33	2
Estados Unidos	83,51	3
Japão	70,1	4
Finlândia	68,81	5
Suécia	30,96	6
Canadá	27,92	7

### Modelo 3

A tabela 10 apresenta a matriz de correlação para o modelo 3.

Tabela 10: Matriz de correlação do modelo 3

	Papel	Papel reciclado	Estoque de carbono na biomassa viva	Floresta plantada
Papel	1			
Papel reciclado	0,339972705	1		
Estoque de carbono na biomassa viva	-0,140505778	0,082481829	1	
Floresta plantada	0,914415936	0,15220409	-0,1817996	1

A variável mais correlacionada a quantidade produzida de papel (imprimir e escrever, sanitários e embalagens) é a floresta plantada, com 0,91. Ou seja, com o aumento da produção de papel, há um aumento também no reflorestamento. Para o caso da quantidade produzida de papel, há correlação com o papel reciclado em 0,33. Por fim, tem-se que o aumento de papel, provoca uma queda no estoque de carbono na biomassa viva (- 0,14), pois quanto maior o número de papel produzido, maior é liberação de carbono na atmosfera.

Na tabela 11 seguem os resultados da análise de Regressão Linear para o modelo 3.

Tabela 11: Regressão Linear: valores do R<sup>2</sup> ajustado dos outputs em relação ao input do modelo 3

Variável	Papel reciclado (t)			Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)			Embalagens (t)		
	Coef.	Stat t	Valor-P	Coef.	Stat t	Valor-P	Coef.	Stat t	Valor-P
Interseção	-3.49	-3.68	0.00	2.86	1.60	0.12	-1.08	-1.88	0.07
Papel (t)	0.42	3.20	0.00	0.13	0.52	0.61	0.72	9.06	0.00
R-quadrado ajustado	0.19			-0.02			0.68		
F de significação	0.00			0.61			0.00		
Observações	40								

A análise de regressão linear das variáveis do modelo 3 demonstram que a variável Papel (t) explica as variáveis Papel Reciclado (t) e Embalagens (t), com nível de significância de 1%, tanto para o modelo (teste F) quanto para os coeficientes (teste t de *Student*). Contudo, o modelo que analisa a influência da variável independente sobre a variável dependente Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t) não foi significativo. Entretanto, decidiu-se manter esta variável no modelo DEA, devido aos estudos apresentados na literatura.

Na tabela 12, os resultados do modelo 3 mostram as eficiências e a análise de janela para o período entre 2011 e 2015.

Tabela 12: Eficiência, média total e o ranking da análise de janela do modelo 3

Países	Análise de Janela					
	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Média (%)	Devio Padrão	Ranking
Brasil	0.9263	0.9570	0.9943	95.92	0.06	2
Canada	1.0000	1.0000	1.0000	100.00	0.00	1
China	0.4977	0.5057	0.5158	50.64	0.02	6
Estados Unidos	0.6822	0.6689	0.6712	67.41	0.01	4
Finlândia	0.4019	0.4075	0.5582	45.59	0.46	7
Indonésia	0.8851	0.8788	0.9041	88.93	0.07	3
Japão	1.0000	1.0000	1.0000	100.00	0.00	1
Suécia	0.5011	0.4733	0.5661	51.35	0.31	5

Os países que se localizaram na fronteira de eficiência nesse período foram o Canadá e o Japão. Além desse, o Brasil apresentou um desempenho significativo acima de 95%, o que demonstra uma excelente capacidade de reciclagem de papel. Por outro lado, os demais países apresentaram resultados abaixo de 90%, com destaque negativo para China (50,64%) que é considerada eficiente na produção de papel.

Na tabela 13, pode-se observar o *ranking* ordenada da eficiência do modelo 3.

Tabela 13: Eficiência e ranking ordenados do modelo 3

Países	Eficiência	Ranking
Canadá	100	1
Japão	100	2
Brasil	95,92	3
Indonésia	88,93	4
Estados Unidos	67,41	5
Suécia	51,35	6
China	50,64	7
Finlândia	45,59	8

#### Modelo 4

Em relação ao modelo 4, segue a tabela 14 da matriz de correlação:

Tabela 14: Matriz de correlação do modelo 4

	Madeira para celulose	Papel reciclado	Estoque de carbono na biomassa viva	Floresta plantada
Madeira para celulose	1			
Papel reciclado	0,186729432	1		
Estoque de carbono na biomassa viva	0,35976267	0,082481829	1	
Floresta plantada	0,067665836	0,15220409	-0,181799606	1

Foi possível constatar que a madeira para celulose apresenta uma correlação mais significativa ao em relação ao estoque de carbono (0,36) e ao papel reciclado (0,18). Já a floresta plantada, apresenta uma correlação pouco significativa (0,06).

Na tabela 15, seguem os resultados da análise de Regressão Linear para o modelo 4.

Tabela 15: Regressão Linear: valores do R<sup>2</sup> ajustado dos outputs em relação ao input do modelo 4

Variável	Papel Reciclado			Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)			Floresta plantada (mil ha)		
	Coef.	Stat t	Valor-P	Coef.	Stat t	Valor-P	Coef.	Stat t	Valor-P
Interseção	5.41	2.84	0.01	-2.35	-1.59	0.12	3.04	3.02	0.00
Madeira celulose	0.18	0.72	0.48	0.82	4.15	0.00	0.14	1.08	0.29
R-quadrado ajustado	-0.01			0.29			0.00		
F de significação	0.48			0.00			0.29		
Observações	40								

A análise econométrica das variáveis do Modelo 4 demonstraram que a Madeira e Celulose não explica estatisticamente as variáveis Papel Reciclado e Floresta Plantada, embora a teoria especializada indique o contrário. Neste sentido, sugere-se que estudos futuros

analisem outras bases de dados e desenvolvam outros modelos estatísticos para este tipo de teste. Já a variável dependente Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t) foi estatisticamente significativa e sofre influência da variável Madeira e Celulose.

Os resultados das eficiências e da análise de janela para o período de 2011 a 2015 são explicitados na tabela 16.

Tabela 16: Eficiência, média total e o ranking da análise de janela do modelo 4

Países	Análise de Janela					
	Janela 1	Janela 2	Janela 3	Média (%)	Desvio Padrão	Ranking
Brasil	1.0000	1.0000	1.0000	100.00	0.00	1
Canadá	0.8594	0.9279	1.0000	92.91	0.11	2
China	1.0000	1.0000	1.0000	100.00	0.00	1
Estados Unidos	1.0000	1.0000	1.0000	100.00	0.00	1
Finlândia	0.1055	0.1048	0.1083	10.62	0.01	5
Indonésia	0.6117	0.5775	0.5689	58.60	0.03	3
Japão	1.0000	1.0000	1.0000	100.00	0.00	1
Suécia	0.1799	0.1802	0.1842	18.14	0.01	4

Nesse período, diversos foram os países que apresentaram eficiência: Brasil, China, Estados Unidos e Japão. Além destes, o Canadá apresentou desempenho significativo. Entretanto os demais foram bastante ineficientes, principalmente a Suécia e a Finlândia.

A tabela 17 apresenta o *ranking* ordenado de eficiência do modelo 4.

Tabela 17: Eficiência e ranking ordenados do modelo 4.

Países	Eficiência	Ranking
Brasil	100	1
China	100	1
Estados Unidos	100	1
Japão	100	1
Canadá	92,91	2
Indonésia	58,6	3
Suécia	18,14	4
Finlândia	10,62	5

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A principal contribuição deste trabalho está na avaliação comparativa do desempenho produtivo do setor de papel e celulose dos principais países produtores, incluindo países da América do Sul, América do Norte, Ásia e Europa. A análise de eficiência buscou identificar os países mais eficientes em relação a produção de celulose, papel e papel reciclado, sendo esta última um importante indicador de desenvolvimento sustentável, provavelmente pela introdução de conceito da Economia Circular e práticas como a logística reversa

O cálculo da eficiência desse setor usando a validação econométrica, a análise de janela e o método DEA, mais especificamente o de Retornos Variáveis de Escala (VRS), mostrou a importância dessas ferramentas para verificação de tendência de eficiência produtiva considerando diversas variáveis, desde a madeira para celulose, passando pela produção de celulose, papel e papel reciclado em si, até a quantidade de floresta plantada.

Avaliando os resultados obtidos no Modelo 1, constata-se que os Estados Unidos é o mais eficiente na produção de celulose a partir de madeira com finalidade exclusiva para celulose, tais como pinus e eucalipto. Em sequência observou o Canadá (84,64%) e o Japão (80,12%). Assim conclui-se que durante o período observado, esses países podem ter desenvolvido e aplicado práticas para a otimização da transformação da madeira em celulose, com uma taxa pequena de formação de resíduos. Mesmo com formação de resíduos, estes podem ser reaproveitados no processo de formação da celulose através da produção de eletricidade, tornando o processo produtivo mais circular e indo ao encontro dos conceitos e valores propostos da economia circular.

Por outro lado, o restante dos países apresentou valores relativamente baixos de eficiência, sendo assim são necessárias práticas e ações para o desenvolvimento de técnicas que possibilitem um aproveitamento melhor no momento da fabricação da celulose. Além disso, observa-se que mesmo países de grande extensão como o Brasil e China não foram eficientes, o que pode ser explicado pela baixa inovação tecnológica para esse fim e também pela qualidade e o tempo de crescimento das árvores utilizadas.

Vale destacar também que o Brasil apresenta resultado baixo de eficiência em 68,86%, constatando assim que é preciso garantir práticas mais severas para melhorar esse desempenho, exemplo disso é a Política Nacional de Resíduos Sólidos, implementado pela Lei 12.305/2010. Somente se as empresas e a população acreditarem na causa, é possível uma produção mais eficiente e, conseqüentemente, um reaproveitamento melhor dos resíduos, como cascas, galhos e folhas de árvores, no processo produtivo.

Em relação aos resultados do Modelo 2, observa-se que a China e a Indonésia são os países eficientes na produção dos principais tipos de papéis: imprimir e escrever, sanitários e embalagens. Seguido deles, nota-se a presença do Brasil (85,33%) e dos Estados Unidos (83,51%), sendo os demais abaixo de 75%. Logo, verifica-se que a China e Indonésia podem ter apresentados bom índice de eficiência devido a fatores internos, tais como mão de obra, matéria prima e certificações baratas, e também uma legislação menos rigorosa em relação a poluição. Como consequência, a produção é mais incentivada, uma vez que há menos controle e punição do que em países como o Brasil e os Estados Unidos. Além disso, a celulose nos países eficientes pode ser utilizada como uma fonte energética, abastecendo tanto os setores industriais quanto a demanda da população.

Entretanto, os demais países apresentaram resultados baixos de índice de eficiência, o que pode ser explicado pelo custo elevado de produção e por certificações e exigências de acordo com as práticas da economia circular. Também justifica o alto índice de exportação, mesmo em países com pequena produção de celulose, como o Japão, Finlândia e Suécia. Práticas de reciclagem também explicam essa situação, uma vez que quanto maior é a reciclagem de papel, menor é a necessidade de produção direta de papel, formando um ciclo produtivo mais sustentável da cadeia do papel.

No Modelo 3, a avaliação dos seus resultados demonstra que o Canadá e o Japão são considerados eficientes na produção de papel reciclado, no estoque de carbono de biomassa viva e na área plantada. Sendo seguidos de perto pelo Japão e posteriormente pelo Brasil. Esses resultados permitem inferir que as altas eficiências desses países podem ser devido a práticas de desenvolvimento sustentável e aplicação de conceitos para incentivar a prática de reciclagem de papel e o reflorestamento das árvores. No Brasil, por exemplo, a PNRS através da logística reversa tem um papel importante na aplicação da reciclagem de resíduos, inclusive do papel descartado.

Em relação aos outros países, estes apresentam resultados abaixo de 70%. Uma das justificativas é a falta de incentivo através de políticas públicas para conscientizar e conter as práticas de desperdício. Os Estados Unidos, por exemplo, são um país mundialmente reconhecido por atitudes de descarte exagerado dos produtos, mesmo que estes não se tornem obsoletos ou inutilizáveis. Portanto, uma maior conscientização da população, pode fazer com que o país invista em um programa de reaproveitamento, reutilização e reuso dos resíduos e também melhores inovações tecnológicas de reciclagem de matérias.

O Modelo 4 apresentou como *input* a madeira para celulose e *outputs* o papel reciclado, estoque de carbono da biomassa viva e a floresta plantada. Observando os resultados

apresentados, a eficiência está presente em quatro países: Brasil, China, Estados Unidos e Japão. Além deles, vale destacar o Canadá com aproximadamente 93%. Desses valores, é possível concluir que os países comentados acima apresentaram altos índices, pois possuem uma mistura de fatores que justificam o seu *ranking*. Por exemplo, o Brasil apresenta uma abundância natural de matéria-prima, com grande área florestal; é um grande exportador de celulose; e também apresenta uma política pública de incentivo a reciclagem de materiais, sendo a de papel bastante destacada.

Por fim, é preciso ressaltar que a eficiência dos países, sobretudo, em relação aos modelos 3 e 4 pode ser melhorada se adotada as práticas de incentivo ao desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, a Economia Circular. Como apresentado no início do trabalho, o modelo linear, de extração de recursos, produção, utilização e descarte do produto, está obsoleto, sendo assim é prejudicial ao crescimento tanto econômico como social e ambiental do país. Para dar fim a isso, é preciso a aplicação dos conceitos da Economia Circular, independente do setor produtivo, visando uma economia restaurativa e regenerativa.

## **Recomendações**

Uma sugestão para introdução dos conceitos da Economia Circular é a remodelação da política industrial através da implementação de Parques Industriais Ecológicos. Segundo Lourenço e Charamonti (2015), estes são organizados para compartilhar recursos e reaproveitar rejeitos de outras empresas. Sendo assim, uma empresa que na sua cadeia produtivo produz rejeitos industriais passa a transferi-los para outra empresa que os utiliza como matéria prima, reduzindo ou eliminando a produção de resíduos poluentes. No caso do papel e celulose, os resíduos de celulose de uma empresa poderiam ser utilizados por outra para a geração de energia para a produção novos papeis ou como insumo para a fabricação de papel reciclado

Os Parques Industriais Ecológicos otimizariam a utilização de energia, água e rejeitos pela cooperação entre as empresas presentes no parque. A cadeia produtiva seria desenvolvida em conjunto para minimizar o desperdício de insumos e a produção de poluentes, utilizando assim conceitos e práticas do desenvolvimento sustentável e gestão ambiental cooperativa.

Os ganhos, além de ambientais e sociais, seriam observados no âmbito econômico, já que as empresas aperfeiçoariam a produção e aumentariam o lucro devido à redução dos gastos com aquisições de matérias primas substituídas por resíduos, gastos com transporte e com a disposição final dos rejeitos.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Mariana Rodrigues de; MARIANO, Enzo Barbeiro; REBELATTO, Daisy A. do Nascimento. ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS - EVOLUÇÃO E POSSIBILIDADES DE APLICAÇÃO. In: IX SIMPÓSIO DE ADMINISTRAÇÃO DA PRODUÇÃO, LOGÍSTICA E OPERAÇÕES INTERNACIONAIS, 9., 2006, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Fgv-caesp, 2006. p. 1 - 16.

ANDRADE JUNIOR, Milton Aurelio Uba de; ZANGHELINI, Guilherme Marcelo; SOARES, Sebastião Roberto. Using life cycle assessment to address stakeholders' potential for improving municipal solid waste management. **Waste Management & Research**, [s.l.], v. 35, n. 5, p.541-550, 22 mar. 2017. SAGE Publications.

AZEVEDO, Juliana Laboissière de. A ECONOMIA CIRCULAR APLICADA NO BRASIL: UMA ANÁLISE A PARTIR DOS INSTRUMENTOS LEGAIS EXISTENTES PARA A LOGÍSTICA REVERSA. In: XI CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 11., 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro: Latec/uff, 2015. p. 1 - 16.

BLOMBERG, Jerry; HENRIKSSON, Eva; LUNDMARK, Robert. Energy efficiency and policy in Swedish pulp and paper mills: A data envelopment analysis approach. **Energy Policy**, [s.l.], v. 42, p.569-579, mar. 2012. Elsevier BV.

BRASIL. Decreto-lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.

BRUNETTA, Marlon Rodrigo. **AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA E DE PRODUTIVIDADE USANDO ANÁLISE POR ENVOLTÓRIA DE DADOS: UM ESTUDO DE CASO APLICADO A PRODUTORES DE LEITE**. 2004. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Métodos Numéricos em Engenharia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004

CAMIOTO, Flávia de Castro; MARIANO, Enzo Barberio; REBELATTO, Daisy Aparecida do Nascimento. Efficiency in Brazil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 37, p.50-60, mar. 2014. Elsevier BV.



CETESB E ABRE. Embalagem e Sustentabilidade: Desafios e orientações no contexto da Economia Circular. Disponível em <[http://www.abre.org.br/wp-content/uploads/2012/08/embalagem\\_sustentabilidade.pdf](http://www.abre.org.br/wp-content/uploads/2012/08/embalagem_sustentabilidade.pdf)>. Acesso em 5 de abril de 2017.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. Measuring the efficiency of decision making units. **European journal of operational research**, v. 2, n. 6, p. 429-444, 1978.

COOPER, W. W. *et al.* Efficiency aggregation with enhanced Russell measures in data envelopment analysis. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 41, n. 1, p. 1-21, 2007.

DELGADO-AGUILAR, Marc *et al.* Are Cellulose Nanofibers a Solution for a More Circular Economy of Paper Products? **Environmental Science & Technology**, [s.l.], v. 49, n. 20, p.12206-12213, 20 out. 2015. American Chemical Society (ACS).

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo à Economia Circular: O racional de negócio para acelerar a transição.** Disponível em: <[https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-à-economia-circular\\_Updated\\_08-12-15.pdf](https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-à-economia-circular_Updated_08-12-15.pdf)>. Acesso em: 7 abr. 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS: banco de dados. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

GONELLA, Jéssica dos Santos Leite *et al.* DIAGNÓSTICO DA RECICLAGEM DE PAPEL NO CENÁRIO BRASILEIRO: UMA ANÁLISE QUANTITATIVA DA ECONOMIA DE RECURSOS NATURAIS. **Revista Científica Anap Brasil**, [s.l.], v. 8, n. 13, p.38-55, 17 nov. 2015. ANAP - Associação Amigos de Natureza de Alta Paulista.

HONMA, S. *et al.* Total-factor Energy Efficiency for Sectors in Japan. **Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy**, [s.l.], v. 8, n. 2, p.130-136, abr. 2013. Informa UK Limited.

Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2016.** 2016. Disponível em: <[http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2016\\_.pdf](http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf)>. Acesso em: 12 mar. 2017.

LAURINDO, Michelly. **A VIABILIDADE DA ECONOMIA CIRCULAR À LUZ DA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS: Lei 12.305 de 02 de agosto de 2010.** 2016. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

LOURENÇO, Marcus Santos; CHIARAMONTI, Cristiano. O desenvolvimento sustentável e a economia circular: a experiência chinesa. Acesso em, v. 9, 2015.

LI, Yuzhong; MA, Chunyuan. Circular economy of a papermaking park in China: a case study. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 92, p.65-74, abr. 2015.

MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. D. N. Transformation of wealth produced into quality of life: analysis of the social efficiency of nation-states with the DEA's triple index approach. **Journal of the Operational Research Society**, v. 65, n. 11, p. 1664-1681, 2014.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/política-de-resíduos-sólidos>>. Acesso em: 12 mar. 2017.

MONTEBELLO, Adriana Estela Sanjuan. **Configuração, reestruturação e mercado de trabalho do setor de celulose e papel no Brasil.** 2010. 173 f. Tese (Doutorado) - Curso de Economia Aplicada, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

MOITA, Márcia Helena Veleda. **UM MODELO PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA TÉCNICA DE PROFESSORES UNIVERSITÁRIOS UTILIZANDO ANÁLISE DE ENVOLTÓRIA DE DADOS: O CASO DOS PROFESSORES DA ÁREA DE ENGENHARIAS.** 2002. 170 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

PEREIRA, Henrique Nascimento et al. AS ATIVIDADES DA LOGÍSTICA REVERSA E A CADEIA DE SUPRIMENTOS DO PAPEL PARA EMBALAGEM. In: XVI ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 26., 2014, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Fea, 2014. p. 1 - 15.

PIOTTO, Zeila Chittolina. **Eco-eficiência na Indústria de Celulose e Papel - Estudo de Caso**. 2003. 379 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

REH, Lothar. Process engineering in circular economy. **Particuology**, [s.l.], v. 11, n. 2, p.119-133, abr. 2013. Elsevier BV.

RIBEIRO, Flavio de Miranda; KRUGLIANSKAS, Isak. A Economia Circular no contexto europeu: Conceito e potenciais de contribuição na modernização das políticas de resíduos sólidos. In: XVI ENCONTRO INTERNACIONAL SOBRE GESTÃO EMPRESARIAL E MEIO AMBIENTE, 26., 2014, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Fea, 2014. p. 1 - 16.

SANTANA, Naja Brandão. **Crescimento econômico, desenvolvimento sustentável e inovação tecnológica: uma análise de eficiência por envoltória de dados para os países do BRICS**. 2012. 216 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SOUSA, Derlicio Carlos Goes et al. A IMPORTÂNCIA DA RECICLAGEM DO PAPEL NA MELHORIA DA QUALIDADE DO MEIO AMBIENTE. In: XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 36., 2016, João Pessoa. **Anais...** . João Pessoa: Enegep, 2014. p. 1 - 16.

SOUZA, Maria Goretti Zago Nunes de. **Avaliação da eficiência energética usando análise envoltória de dados: aplicação aos países em desenvolvimento**. 2012. 178 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SUN, Jiasen et al. Allocation of emission permits using DEA: centralised and individual points of view. **International Journal Of Production Research**, [s.l.], v. 52, n. 2, p.419-435, 22 ago. 2013. Informa UK Limited.

## APÊNDICE I – TABELAS UTILIZADAS NA MODELAGEM DA DEA

### Modelo 1

Tabela 18: Input e Outputs do modelo 1 em 2011

<b>2011</b>	<b>INPUT</b>		<b>OUTPUTS</b>	
<b>Países</b>	<b>Madeira para celulose (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resíduo madeira (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Celulose (t)</b>	
<b>Brasil</b>	75882000	11621000	11621000	13824000
<b>Canadá</b>	25920663	8774000	8774000	17279000
<b>China</b>	24928000	60000000	60000000	6992200
<b>Estados Unidos</b>	183821000	11654000	11654000	46903165
<b>Finlândia</b>	25884594	5294237	5294237	9921062
<b>Indonésia</b>	28000000	388000	388000	6178000
<b>Japão</b>	4274000	6850000	6850000	8979000
<b>Suécia</b>	31700000	4000000	4000000	11367000

Tabela 19: Input e Outputs do modelo 1 em 2012

<b>2012</b>	<b>INPUT</b>		<b>OUTPUTS</b>	
<b>Países</b>	<b>Madeira para celulose (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resíduo madeira (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Celulose (t)</b>	
<b>Brasil</b>	73837000	17194000	17194000	13877000
<b>Canadá</b>	25921000	8774000	8774000	16763000
<b>China</b>	24527000	70000000	70000000	6764200
<b>Estados Unidos</b>	184448000	12328000	12328000	45660040
<b>Finlândia</b>	25291869	5117000	5117000	9570000
<b>Indonésia</b>	29900000	388000	388000	6328000
<b>Japão</b>	4556000	6944000	6944000	8615000
<b>Suécia</b>	30399000	4154392	4154392	11369000

Tabela 20: Input e Outputs do modelo 1 em 2013

<b>2013</b>	<b>INPUT</b>		<b>OUTPUTS</b>	
<b>Países</b>	<b>Madeira para celulose (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resíduo madeira (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Celulose (t)</b>	
<b>Brasil</b>	71943000	17194000	17194000	15024000
<b>Canadá</b>	19802449	8774000	8774000	16874000
<b>China</b>	35317000	82000000	82000000	7475200
<b>Estados Unidos</b>	186390000	13198000	13198000	44325100
<b>Finlândia</b>	27900013	5504216	5504216	9710000
<b>Indonésia</b>	29900000	388000	388000	6400000
<b>Japão</b>	5117000	8072000	8072000	8748000
<b>Suécia</b>	31300000	8365000	8365000	10957278

Tabela 21: Input e Outputs do modelo 1 em 2014

<b>2014</b>	<b>INPUT</b>		<b>OUTPUTS</b>	
<b>Países</b>	<b>Madeira para celulose (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resíduo madeira (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Celulose (t)</b>	
<b>Brasil</b>	71999000		17194000	16358000
<b>Canadá</b>	20338898		8774000	16168000
<b>China</b>	27340000		83000000	8284200
<b>Estados Unidos</b>	184803908		13800000	45381000
<b>Finlândia</b>	27538150		5723772	9701386
<b>Indonésia</b>	29900000		388000	6400000
<b>Japão</b>	4813000		6949000	8949000
<b>Suécia</b>	29800000		8600000	10746371

Tabela 22: Input e Outputs do modelo 1 em 2015

<b>2015</b>	<b>INPUT</b>		<b>OUTPUTS</b>	
<b>Países</b>	<b>Madeira para celulose (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Resíduo madeira (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Celulose (t)</b>	
<b>Brasil</b>	76814000		17194000	17318000
<b>Canadá</b>	20338898		8774000	16577000
<b>China</b>	31733000		93000000	8324200
<b>Estados Unidos</b>	179303412		13800000	44857000
<b>Finlândia</b>	29321495		5304516	9751758
<b>Indonésia</b>	29900000		388000	6400000
<b>Japão</b>	4813000		6949000	8714000
<b>Suécia</b>	30900000		8600000	10839117

## Modelo 2

Tabela 23: Input e Outputs do modelo 2 em 2011

<b>2011</b>	<b>INPUT</b>		<b>OUTPUTS</b>		
<b>País</b>	<b>Celulose disponível indústria (t)</b>	<b>Imprimir e Escrever (t)</b>	<b>Sanitários (t)</b>	<b>Embalagens (t)</b>	
<b>Brasil</b>	5738320		2745000	961000	5922000
<b>Canadá</b>	10190495		3771000	723000	3181000
<b>China</b>	19480830		25039000	7499000	62456000
<b>Estados Unidos</b>	44144174		16963359	6613342	45841620
<b>Finlândia</b>	8035620		7045500	155884	3519000
<b>Indonésia</b>	4035335		4761000	422000	4114000
<b>Japão</b>	10322574		8765000	1779000	11408000
<b>Suécia</b>	9044892		3347000	352000	5415000

Tabela 24: Input e Outputs do modelo 2 em 2012

<b>2012</b>	<b>INPUT</b>		<b>OUTPUTS</b>		
<b>País</b>	<b>Celulose disponível indústria (t)</b>	<b>Imprimir e Escrever (t)</b>	<b>Sanitários (t)</b>	<b>Embalagens (t)</b>	
<b>Brasil</b>	5774492	2667000	1040000	5997000	
<b>Canadá</b>	9959000	3311000	707000	2864000	
<b>China</b>	20760980	25789000	7999000	64599000	
<b>Estados Unidos</b>	43528313	16139000	6563000	45798000	
<b>Finlândia</b>	7670420	6366000	151000	3608000	
<b>Indonésia</b>	3984569	4862000	431000	4201000	
<b>Japão</b>	9961728	8420000	1767000	11122000	
<b>Suécia</b>	9115408	3434000	361000	5550000	

Tabela 25: Input e Outputs do modelo 2 em 2013

<b>2013</b>	<b>INPUT</b>		<b>OUTPUTS</b>		
<b>País</b>	<b>Celulose disponível indústria (t)</b>	<b>Imprimir e Escrever (t)</b>	<b>Sanitários (t)</b>	<b>Embalagens (t)</b>	
<b>Brasil</b>	6024835	2621000	1096000	6162000	
<b>Canada</b>	10081921	3466000	711000	3025000	
<b>China</b>	21627797	25389000	8149000	63780000	
<b>Estados Unidos</b>	42405395	15468326	6849209	43907512	
<b>Finlândia</b>	7414587	6117758	241000	3802999	
<b>Indonésia</b>	3731360	4862000	431000	4201000	
<b>Japão</b>	9929152	8576000	1746000	11282000	
<b>Suécia</b>	8613674	3278000	353000	5541000	

Tabela 26: Input e Outputs do modelo 2 em 2014

<b>2014</b>	<b>INPUT</b>		<b>OUTPUTS</b>		
<b>País</b>	<b>Celulose disponível indústria (t)</b>	<b>Imprimir e Escrever (t)</b>	<b>Sanitários (t)</b>	<b>Embalagens (t)</b>	
<b>Brasil</b>	3679993	2667000	1040000	5997000	
<b>Canadá</b>	10024067	3311000	707000	2864000	
<b>China</b>	21613876,55	25789000	7999000	64599000	
<b>Estados Unidos</b>	44195555	16139000	6563000	45798000	
<b>Finlândia</b>	7286939	6366000	151000	3608000	
<b>Indonésia</b>	3856485	4862000	431000	4201000	
<b>Japão</b>	9874370	8420000	1767000	11122000	
<b>Suécia</b>	9011124	3434000	361000	5550000	

Tabela 27: Input e Outputs do modelo 2 em 2015

País	2015		<i>INPUT</i>			<i>OUTPUTS</i>		
			Celulose disponível indústria (t)	Imprimir e Escrever (t)	Sanitários (t)	Embalagens (t)		
<b>Brasil</b>			6160194	2492000	1114000	6183000		
<b>Canadá</b>			9537211	3255000	697000	3114000		
<b>China</b>			24637092,55	25639000	9049000	68630000		
<b>Estados Unidos</b>			43135222	14527000	6824000	47614000		
<b>Finlândia</b>			7378292	5646847	245000	3910000		
<b>Indonésia</b>			3802153	4862000	431000	4201000		
<b>Japão</b>			9943960	8384000	1764000	11656000		
<b>Suécia</b>			8453180	2866000	356000	5684000		

**Modelo 3**

Tabela 28: Input e Outputs do modelo 3 em 2011

País	<i>INPUT</i>			<i>OUTPUTS</i>		
	2011	Papel (t)	Papel reciclado (t)	Papel reciclado (%)	Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)	Floresta plantada (1000 ha)
<b>Brasil</b>		9628000	4348000	45%	59622,7	6973
<b>Canada</b>		7675000	3284000	43%	13992	13975
<b>China</b>		94994000	47653000	50%	6358,9	73066,5
<b>Estados Unidos</b>		69418321	47970000	69%	17067	25564
<b>Finlândia</b>		10720384	583000	5%	780,1	6775,4
<b>Indonésia</b>		9297000	3934000	42%	13849	4803
<b>Japão</b>		21952000	21552578	98%	1648	10292
<b>Suécia</b>		9114000	1497000	16%	1102,8	12564

Tabela 29: Input e Outputs do modelo 3 em 2012

País	<i>INPUT</i>			<i>OUTPUTS</i>		
	2012	Papel (t)	Papel reciclado (t)	Papel reciclado (%)	Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)	Floresta plantada (1000 ha)
<b>Brasil</b>		9704000	4363000	44,96%	59542,51	7125,6
<b>Canada</b>		6882000	2651000	38,52%	13990,12	14336,8
<b>China</b>		98387000	48743000	49,54%	6444,46	74249,64
<b>Estados Unidos</b>		68500000	46447300	67,81%	17119,6	25724
<b>Finlândia</b>		10125000	567000	5,60%	780,1	6775,4
<b>Indonésia</b>		9494000	3934000	41,44%	13576,8	4831,6
<b>Japão</b>		21309000	21751622	102,08%	1647,89	10287,6
<b>Suécia</b>		9345000	1327000	14,20%	1105,1	12798,6

Tabela 30: Input e Outputs do modelo 3 em 2013

<i>INPUT</i>				<i>OUTPUTS</i>		
2013	Papel (t)	Papel reciclado (t)	Papel reciclado (%)	Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)	Floresta plantada (1000 ha)	
<b>Brasil</b>	9879000	4481000	45,36%	59462,32	7278,2	
<b>Canada</b>	7202000	2700000	37,49%	13988,25	14698,6	
<b>China</b>	97318000	48953600	50,30%	6530,02	75432,78	
<b>Estados Unidos</b>	66225047	45475119	68,67%	17172,2	25884	
<b>Finlândia</b>	10161757	628000	6,18%	780,1	6775,4	
<b>Indonésia</b>	9494000	3934000	41,44%	13304,6	4860,2	
<b>Japão</b>	21604000	21865452	101,21%	1647,79	10283,2	
<b>Suécia</b>	9172000	1241000	13,53%	1107,4	13033,2	

Tabela 31: Input e Outputs do modelo 3 em 2014

<i>INPUT</i>				<i>OUTPUTS</i>		
2014	Papel (t)	Papel reciclado (t)	Papel reciclado (%)	Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)	Floresta plantada (1000 ha)	
<b>Brasil</b>	9704000	4805000	50%	59382,13	7430,8	
<b>Canada</b>	6882000	2577000	37%	13986,37	15060,4	
<b>China</b>	98387000	53697900	55%	6615,58	76615,92	
<b>Estados Unidos</b>	68500000	46421308	68%	17224,8	26044	
<b>Finlândia</b>	10125000	613000	6%	780,1	6775,4	
<b>Indonésia</b>	9494000	3934000	41%	13032,4	4888,8	
<b>Japão</b>	21309000	21751165	102%	1647,68	10278,8	
<b>Suécia</b>	9345000	1161000	12%	1109,7	13267,8	

Tabela 32: Input e Outputs do modelo 3 em 2015

<i>INPUT</i>				<i>OUTPUTS</i>		
2015	Papel (t)	Papel reciclado (t)	Papel reciclado (%)	Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)	Floresta plantada (1000 ha)	
<b>Brasil</b>	9789000	4742000	48%	59301,94	7583,4	
<b>Canada</b>	7066000	2745000	39%	13984,49	15422,2	
<b>China</b>	103318000	53787900	52%	6701,14	77799,06	
<b>Estados Unidos</b>	68965000	47328488	69%	17277,4	26204	
<b>Finlândia</b>	9801847	613000	6%	780,1	6775,4	
<b>Indonésia</b>	9494000	3934000	41%	12760,2	4917,4	
<b>Japão</b>	21804000	21751165	100%	1647,58	10274,4	
<b>Suécia</b>	8906000	1175000	13%	1112	13502,4	



## Modelo 4

Tabela 33: Input e Outputs do modelo 4 em 2011

	<i>INPUT</i>		<i>OUTPUTS</i>		
	2011	Madeira para celulose (m <sup>3</sup> )	Papel reciclado (t)	Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)	Floresta plantada (mil ha)
<b>Brasil</b>		75882000	4348000	59622,7	6973
<b>Canadá</b>		25920663	3284000	13992	13975
<b>China</b>		24928000	47653000	6358,9	73066,5
<b>Estados Unidos</b>		183821000	47970000	17067	25564
<b>Finlândia</b>		25884594	583000	780,1	6775,4
<b>Indonésia</b>		28000000	3934000	13849	4803
<b>Japão</b>		4274000	21552578	1648	10292
<b>Suécia</b>		31700000	1497000	1102,8	12564

Tabela 34: Input e Outputs do modelo 4 em 2012

	<i>INPUT</i>		<i>OUTPUTS</i>		
	2012	Madeira para celulose (m <sup>3</sup> )	Papel reciclado (t)	Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)	Floresta plantada (mil ha)
<b>Brasil</b>		73837000	4363000	59542,51	7125,6
<b>Canadá</b>		25921000	2651000	13990,12	14336,8
<b>China</b>		24527000	48743000	6444,46	74249,64
<b>Estados Unidos</b>		184448000	46447300	17119,6	25724
<b>Finlândia</b>		25291869	567000	780,1	6775,4
<b>Indonésia</b>		29900000	3934000	13576,8	4831,6
<b>Japão</b>		4556000	21751622	1647,89	10287,6
<b>Suécia</b>		30399000	1327000	1105,1	12798,6

Tabela 35: Input e Outputs do modelo 4 em 2013

	<i>INPUT</i>		<i>OUTPUTS</i>		
	2013	Madeira para celulose (m <sup>3</sup> )	Papel reciclado (t)	Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)	Floresta plantada (mil ha)
<b>Brasil</b>		71943000	4481000	59462,32	7278,2
<b>Canadá</b>		19802449	2700000	13988,25	14698,6
<b>China</b>		35317000	48953600	6530,02	75432,78
<b>Estados Unidos</b>		186390000	45475119	17172,2	25884
<b>Finlândia</b>		27900013	628000	780,1	6775,4
<b>Indonésia</b>		29900000	3934000	13304,6	4860,2
<b>Japão</b>		5117000	21865452	1647,79	10283,2
<b>Suécia</b>		31300000	1241000	1107,4	13033,2

Tabela 36: Input e Outputs do modelo 4 em 2014

	<i>INPUT</i>		<i>OUTPUTS</i>		
	2014	Madeira para celulose (m <sup>3</sup> )	Papel reciclado (t)	Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)	Floresta plantada (mil ha)
<b>Brasil</b>		71999000	4805000	59382,13	7430,8
<b>Canadá</b>		20338898	2577000	13986,37	15060,4
<b>China</b>		27340000	53697900	6615,58	76615,92
<b>Estados Unidos</b>		184803908	46421308	17224,8	26044
<b>Finlândia</b>		27538150	613000	780,1	6775,4
<b>Indonésia</b>		29900000	3934000	13032,4	4888,8
<b>Japão</b>		4813000	21751165	1647,68	10278,8
<b>Suécia</b>		29800000	1161000	1109,7	13267,8

Tabela 37: Input e Outputs do modelo 4 em 2015

	<i>INPUT</i>		<i>OUTPUTS</i>		
	2015	Madeira para celulose (m <sup>3</sup> )	Papel reciclado (t)	Estoque de carbono na biomassa viva (milhões t)	Floresta plantada (mil ha)
<b>Brasil</b>		76814000	4720000	59301,94	7583,4
<b>Canadá</b>		20338898	2745000	13984,49	15422,2
<b>China</b>		31733000	53787900	6701,14	77799,06
<b>Estados Unidos</b>		179303412	47328488	17277,4	26204
<b>Finlândia</b>		29321495	613000	780,1	6775,4
<b>Indonésia</b>		29900000	3934000	12760,2	4917,4
<b>Japão</b>		4813000	21751165	1647,68	10274,4
<b>Suécia</b>		30900000	1175000	1112	13502,4

**APÊNDICE II – TABELAS DE RESULTADOS DA ANÁLISE DE  
JANELA**

**Modelo 1**

Tabela 38: Resultado da análise de janela do Brasil no modelo 1

<b>Brasil</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,5187		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	0,5900	0,5900	0,5900
<b>2014</b>		0,6454	0,6454
<b>2015</b>			0,6505
<b>Média Janela</b>	0,702880419	0,745133364	0,617700046
<b>Média Total</b>	68,86		
<b>Desvio Padrão</b>	0,190901369		

Tabela 39: Resultado da análise de janela do Canadá no modelo 1

<b>Canadá</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	0,3090	0,3090	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	0,769673918	0,769673917	0,999999999
<b>Média Total</b>	84,64		
<b>Desvio Padrão</b>	0,319860775		

Tabela 40: Resultado da análise de janela da China no modelo 1

<b>China</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,4138		
<b>2012</b>	0,7561	0,7561	
<b>2013</b>	0,3847	0,3847	0,3847
<b>2014</b>		0,4758	0,4758
<b>2015</b>			0,4474
<b>Média Janela</b>	0,518197913	0,538867219	0,430250342
<b>Média Total</b>	49,58		
<b>Desvio Padrão</b>	0,16014694		

Tabela 41: Resultado da análise de janela dos Estados Unidos no modelo 1

<b>Estados Unidos</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	1	1,000000001	1,000000001
<b>Média Total</b>		100,00	
<b>Desvio Padrão</b>		5,14547E-10	

Tabela 42: Resultado da análise de janela da Finlândia no modelo 1

<b>Finlândia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,5746		
<b>2012</b>	0,5186	0,5186	
<b>2013</b>	0,5333	0,5333	0,5333
<b>2014</b>		0,5561	0,5561
<b>2015</b>			0,5365
<b>Média Janela</b>	0,54216781	0,535977084	0,544664081
<b>Média Total</b>		54,09	
<b>Desvio Padrão</b>		0,019872688	

Tabela 43: Resultado da análise de janela da Indonésia no modelo 1

<b>Indonésia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,3496		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	0,3452	0,3452	0,3452
<b>2014</b>		0,3582	0,3582
<b>2015</b>			0,3501
<b>Média Janela</b>	0,564962661	0,567818283	0,351727424
<b>Média Total</b>		49,48	
<b>Desvio Padrão</b>		0,30080096	

Tabela 44: Resultado da análise de janela do Japão no modelo 1

<b>Japão</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	0,1054	0,1054	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	0,701812127	0,701812127	1
<b>Média Total</b>	80,12		
<b>Desvio Padrão</b>	0,41410249		

Tabela 45: Resultado da análise de janela da Suécia no modelo 1

<b>Suécia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,6190		
<b>2012</b>	0,5132	0,5132	
<b>2013</b>	0,5838	0,5838	0,5838
<b>2014</b>		0,6021	0,6021
<b>2015</b>			0,5873
<b>Média Janela</b>	0,571988919	0,566349029	0,592947882
<b>Média Total</b>	57,71		
<b>Desvio Padrão</b>	0,040155511		

## Modelo 2

Tabela 46: Resultado da análise de janela do Brasil no modelo 2

<b>Brasil</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,7993		
<b>2012</b>	0,8398	0,8398	
<b>2013</b>	0,7718	0,7718	0,7718
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			0,7921
<b>Média Janela</b>	0,803616783	0,870514976	0,885893264
<b>Média Total</b>	85,33		
<b>Desvio Padrão</b>	0,097194599		

Tabela 47: Resultado da análise de janela do Canadá no modelo 2

<b>Canadá</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,2936		
<b>2012</b>	0,2689	0,2689	
<b>2013</b>	0,2854	0,2854	0,2854
<b>2014</b>		0,2729	0,2729
<b>2015</b>			0,3076
<b>Média Janela</b>	0,282625673	0,275726416	0,279155073
<b>Média Total</b>	27,92		
<b>Desvio Padrão</b>	0,009366981		

Tabela 48: Resultado da análise de janela da China no modelo 2

<b>China</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	1	1	1
<b>Média Total</b>	100,00		
<b>Desvio Padrão</b>	1,29974E-11		

Tabela 49: Resultado da análise de janela dos Estados Unidos no modelo 3

<b>Estados Unidos</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,8819		
<b>2012</b>	0,8205	0,8205	
<b>2013</b>	0,8405	0,8405	0,8405
<b>2014</b>		0,8205	0,8205
<b>2015</b>			0,7541
<b>Média Janela</b>	0,84762365	0,827150663	0,830487215
<b>Média Total</b>	83,51		
<b>Desvio Padrão</b>	0,021145846		

Tabela 50: Resultado da análise de janela da Finlândia no modelo 2

<b>Finlândia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,7036		
<b>2012</b>	0,6730	0,6730	
<b>2013</b>	0,6733	0,6733	0,6733
<b>2014</b>		0,7149	0,7149
<b>2015</b>			0,6700
<b>Média Janela</b>	0,683290543	0,687041635	0,694084343
<b>Média Total</b>	68,81		
<b>Desvio Padrão</b>	0,019972154		

Tabela 51: Resultado da análise de janela da Indonésia no modelo 2

<b>Indonésia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	1	1	1
<b>Média Total</b>	100,00		
<b>Desvio Padrão</b>	3,68036E-11		

Tabela 52: Resultado da análise de janela do Japão no modelo 2

<b>Japão</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,6734		
<b>2012</b>	0,6836	0,6836	
<b>2013</b>	0,7164	0,7164	0,7164
<b>2014</b>		0,7044	0,7044
<b>2015</b>			0,7631
<b>Média Janela</b>	0,691133697	0,701443251	0,710387103
<b>Média Total</b>	70,10		
<b>Desvio Padrão</b>	0,017288437		

Tabela 53: Resultado da análise de janela da Suécia no modelo 2

<b>Suécia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,2952		
<b>2012</b>	0,3049	0,3049	
<b>2013</b>	0,3133	0,3133	0,3133
<b>2014</b>		0,3140	0,3140
<b>2015</b>			0,3059
<b>Média Janela</b>	0,304480817	0,3107422	0,31365696
<b>Média Total</b>	30,96		
<b>Desvio Padrão</b>	0,00686107		

**Modelo 3**

Tabela 54: Resultado da análise de janela do Brasil no modelo 3

<b>Brasil</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,8966		
<b>2012</b>	0,8824	0,8824	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		0,9886	0,9886
<b>2015</b>			0,9668
<b>Média Janela</b>	0,926335433	0,956989556	0,994290693
<b>Média Total</b>	95,92		
<b>Desvio Padrão</b>	0,056421514		

Tabela 55: Resultado da análise de janela do Canadá no modelo 3

<b>Canadá</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	1	1	1
<b>Média Total</b>	100,00		
<b>Desvio Padrão</b>	3,23971E-12		



Tabela 56: Resultado da análise de janela da China no modelo 3

<b>China</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,5109		
<b>2012</b>	0,4853	0,4853	
<b>2013</b>	0,4970	0,4970	0,4970
<b>2014</b>		0,5347	0,5347
<b>2015</b>			0,5219
<b>Média Janela</b>	0,497730152	0,50565693	0,515832574
<b>Média Total</b>	50,64		
<b>Desvio Padrão</b>	0,019872478		

Tabela 57: Resultado da análise de janela dos Estados Unidos no modelo 3

<b>Estados Unidos</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,7038		
<b>2012</b>	0,6643	0,6643	
<b>2013</b>	0,6785	0,6785	0,6785
<b>2014</b>		0,6639	0,6639
<b>2015</b>			0,6880
<b>Média Janela</b>	0,682194171	0,668888083	0,671190667
<b>Média Total</b>	67,41		
<b>Desvio Padrão</b>	0,013839193		

Tabela 58: Resultado da análise de janela da Finlândia no modelo 3

<b>Finlândia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,0996		
<b>2012</b>	0,1060	0,1060	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		0,1164	0,1164
<b>2015</b>			0,1246
<b>Média Janela</b>	0,401890026	0,407480364	0,558197727
<b>Média Total</b>	45,59		
<b>Desvio Padrão</b>	0,46122063		

Tabela 59: Resultado da análise de janela da Indonésia no modelo 3

<b>Indonésia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,8620		
<b>2012</b>	0,8283	0,8283	
<b>2013</b>	0,9650	0,9650	0,9650
<b>2014</b>		0,8431	0,8431
<b>2015</b>			0,8477
<b>Média Janela</b>	0,885119873	0,878819821	0,904057536
<b>Média Total</b>	88,93		
<b>Desvio Padrão</b>	0,065037334		

Tabela 60: Resultado da análise de janela do Japão no modelo 3

<b>Japão</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	1	0,999999999	0,999999999
<b>Média Total</b>	100,00		
<b>Desvio Padrão</b>	1,25735E-09		

Tabela 61: Resultado da análise de janela da Suécia no modelo 3

<b>Suécia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,3397		
<b>2012</b>	0,2876	0,2876	
<b>2013</b>	0,8761	0,8761	0,8761
<b>2014</b>		0,2562	0,2562
<b>2015</b>			0,2839
<b>Média Janela</b>	0,50113127	0,473302929	0,566145457
<b>Média Total</b>	51,35		
<b>Desvio Padrão</b>	0,306791979		

**Modelo 4**

Tabela 62: Resultado da análise de janela do Brasil no modelo 4

<b>Brasil</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	1	1	1
<b>Média Total</b>	100,00		
<b>Desvio Padrão</b>	2,3871E-10		

Tabela 63: Resultado da análise de janela do Canadá no modelo 4

<b>Canadá</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,7946		
<b>2012</b>	0,7836	0,7836	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	0,859379617	0,927853379	1
<b>Média Total</b>	92,91		
<b>Desvio Padrão</b>	0,110169876		

Tabela 64: Resultado da análise de janela da China no modelo 4

<b>China</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	1	1	1
<b>Média Total</b>	100,00		
<b>Desvio Padrão</b>	2,35046E-10		

Tabela 65: Resultado da análise de janela dos Estados Unidos no modelo 4

<b>Estados Unidos</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	1	1	1
<b>Média Total</b>		100,00	
<b>Desvio Padrão</b>		7,49609E-11	

Tabela 66: Resultado da análise de janela da Finlândia no modelo 4

<b>Finlândia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,0984		
<b>2012</b>	0,0977	0,0977	
<b>2013</b>	0,1204	0,1204	0,1204
<b>2014</b>		0,0962	0,0962
<b>2015</b>			0,1017
<b>Média Janela</b>	0,105519666	0,104757125	0,108264256
<b>Média Total</b>		10,62	
<b>Desvio Padrão</b>		0,011993581	

Tabela 67: Resultado da análise de janela da Indonésia no modelo 4

<b>Indonésia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,6640		
<b>2012</b>	0,5948	0,5948	
<b>2013</b>	0,5762	0,5762	0,5762
<b>2014</b>		0,5616	0,5616
<b>2015</b>			0,5871
<b>Média Janela</b>	0,611672773	0,577541366	0,568921982
<b>Média Total</b>		58,60	
<b>Desvio Padrão</b>		0,033115089	

Tabela 68: Resultado da análise de janela do Japão no modelo 4

<b>Japão</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	1,0000		
<b>2012</b>	1,0000	1,0000	
<b>2013</b>	1,0000	1,0000	1,0000
<b>2014</b>		1,0000	1,0000
<b>2015</b>			1,0000
<b>Média Janela</b>	1	1	1
<b>Média Total</b>		100,00	
<b>Desvio Padrão</b>		3,03804E-14	

Tabela 69: Resultado da análise de janela da Suécia no modelo 4

<b>Suécia</b>			
<b>Período</b>	<b>Janela 1</b>	<b>Janela 2</b>	<b>Janela 3</b>
<b>2011</b>	0,1721		
<b>2012</b>	0,1724	0,1724	
<b>2013</b>	0,1952	0,1952	0,1952
<b>2014</b>		0,1732	0,1732
<b>2015</b>			0,1783
<b>Média Janela</b>	0,179891082	0,180249863	0,184188518
<b>Média Total</b>		18,14	
<b>Desvio Padrão</b>		0,011685512	