

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
NÍVEL MESTRADO

RAMON ANSCHAU

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL-ECONÔMICA DO USO DA ENERGIA NO PROCESSO
DE PRODUÇÃO DE ÁGUA MINERAL COM APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE
PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

São Leopoldo
2018

RAMON ANSCHAU

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL-ECONÔMICA DO USO DA ENERGIA NO PROCESSO
DE PRODUÇÃO DE ÁGUA MINERAL COM APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE
PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para a obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica, pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica da
UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes
Coorientadora: Dra. Ana Cristina Curia

São Leopoldo
2018

A617a Anschau, Ramon
 Avaliação ambiental-econômica do uso da energia no
 processo de produção de água mineral com aplicação dos
 conceitos de produção mais limpa / por Ramon Anschau. – 2018.
 85 f. : il. ; 30 cm.

 Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos
 Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica,
 São Leopoldo, RS, 2018.
 Orientador: Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes
 Coorientadora: Dra. Ana Cristina Curia

 1. Água Mineral. 2. Garrafa PET. 3. Energia. 4. Produção
 mais limpa. I. Título.

CDU: 663.6

RAMON ANSCHAU

**AVALIAÇÃO AMBIENTAL-ECONÔMICA DO USO DA ENERGIA NO PROCESSO
DE PRODUÇÃO DE ÁGUA MINERAL COM APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE
PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Mestre em
Engenharia Mecânica, pelo Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Mecânica da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos -
UNISINOS

Aprovado em (26) (julho) (2018).

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Alexandre dos Santos – PUC

Profa. Dra. Feliciane Andrade Brehm – UNISINOS

Prof. Dr. Paulo Wander – UNISINOS

Dedico esta obra à minha família, meu bem mais precioso.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos aos que me ajudaram na realização desta obra:

À Deus, por me dar saúde durante toda a jornada;

À minha família, pelo incentivo em todos os momentos;

À minha companheira, Fabiane Scholz pelo apoio de sempre;

Aos meus orientadores, Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes e Dra. Ana Cristina Curia pelas incessantes leituras, conselhos e orientações;

À Bebidas Fruki S.A. pela disponibilidade de recursos e auxílio de diversas formas.

“Há uma força mais poderosa que o vapor, a eletricidade
e a energia atômica: a vontade.”

(Albert Einstein)

RESUMO

O aumento no consumo de água mineral mostra a preocupação da população mundial com a compra de produtos mais saudáveis. Porém, devido à pequena margem financeira com a venda do produto, existe maior competitividade entre as empresas e o uso dos recursos para os processos produtivos deve ser conhecido e minimizado, sem impactar na qualidade. Esta pesquisa teve como objetivo, entender e estratificar os consumos de energia nas diferentes etapas do processo de produção de água mineral não carbonatada em embalagens de 500 ml, buscando aplicar melhorias através de conceitos de Produção Mais Limpa (P+L). Conhecer os impactos ambientais potenciais das principais etapas do processo produtivo também foi um dos objetivos do estudo. Para isso, foram detalhados os processos principais e auxiliares através de fluxogramas de entradas e saídas e posteriormente foi realizado o Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA). Indicadores de desempenho foram definidos, acompanhados e comparados com a bibliografia no final do estudo, os quais nortearam discussões entre as diferentes áreas da empresa. Todas as ações foram avaliadas técnica e economicamente através de reuniões periódicas e com cálculos de *Payback* simples, possibilitando conhecer a viabilidade dos possíveis investimentos. No final do estudo foram apresentadas as oportunidades de melhorias implementadas as quais trouxeram ganhos significativos. Após evidenciar que, aproximadamente, 70% do consumo de energia são necessários para a fabricação da embalagem, uma das melhorias sugeridas foi a fabricação de preformas mais leves. Isso tornou o processo 8% mais eficiente energeticamente, além de contribuir com a possibilidade de redução de até 195 toneladas de resina PET por ano, o que trouxe ganhos econômicos, além de diminuir a geração de resíduos sólidos. A redução na pressão de sopragem, outra melhoria implementada, gerou uma redução de 23% no consumo de energia associada à geração de ar comprimido de alta pressão. Melhoria de processo com *Payback* de 6 meses gerou uma economia anual de cerca de R\$37.000,00 considerando a média da tarifa paga pela região sul do Brasil, onde está localizada a empresa. Com a utilização destes métodos, esta pesquisa buscou demonstrar o potencial de aumento de eficiência que estas ferramentas podem trazer para as empresas, trazendo, além de benefícios ambientais e econômicos, fortalecer a continuação de outros estudos de caso com o mesmo enfoque, já que trabalha em todos os níveis hierárquicos da organização.

Palavras-chave: Água Mineral. Garrafa PET. Energia. Produção Mais Limpa.

ABSTRACT

The increase in mineral water consumption shows the concern of the world population with the purchase of healthier products. However, due to the small financial margin with the sale of the product, there is greater competitiveness among companies and the use of resources for the production processes must be known and minimized, without impacting on quality. The objective of this research was to understand and stratify energy consumption in the different stages of the production process of non-carbonated mineral water in 500 ml packages, seeking to apply improvements through Cleaner Production (P+L) concepts. Knowing the potential environmental impacts of the main stages of the production process was also one of the objectives of the study. For this, the main and auxiliary processes were detailed through input and output flow charts, and the Environmental Aspects and Impacts Survey (LAIA) was subsequently carried out. Performance indicators were defined, monitored and compared with the bibliography at the end of the study, which guided discussions between the different areas of the company. All actions were evaluated technically and economically through periodic meetings and with simple Payback calculations, making it possible to know the feasibility of possible investments. At the end of the study were presented the improvement opportunities implemented which brought significant gains. After evidencing that approximately 70% of the energy consumption is necessary for the manufacture of the packaging, one of the suggested improvements was the manufacture of lighter preforms. This made the process 8% more energetically efficient, besides contributing to the possibility of reducing up to 195 tons of PET resin per year, which brought economic gains, as well as reducing the generation of solid waste. The reduction in blowing pressure, another improvement implemented, generated a 23% reduction in energy consumption associated with the generation of high pressure compressed air. Process improvement with payback of 6 months generated annual savings of about R\$37.000,00 considering the average of the tariff paid by the southern region of Brazil, where the company is located. With the use of these methods, this research aimed to demonstrate the potential for increased efficiency that these tools can bring to companies, bringing, in addition to environmental and economic benefits, to strengthen the continuation of other case studies with the same approach, since it works at all hierarchical levels of the organization.

Keywords: Mineral Water. PET bottle. Energy. Cleaner Production.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Imagem aérea da Bebidas Fruki S.A.....	16
Figura 2.1 – Processos de produção de água mineral engarrafada.....	22
Figura 2.2 – Cadeia produtiva do PET	23
Figura 2.3 – Processo de injeção de PET	25
Figura 2.4 – Média de massa de garrafas de 500 ml para água mineral.....	26
Figura 2.5 – Alterações na geometria das preformas nos últimos anos.	27
Figura 2.6 – Garrafa PET 500 ml.	28
Figura 2.7 – Processo de sopragem de garrafas PET.	28
Figura 2.8 – Principais gastos com a produção de ar comprimido na indústria.....	29
Figura 2.9 – Níveis de P+L.....	33
Figura 2.10 – Etapas para a implementação da metodologia Produção Mais Limpa.....	34
Figura 3.1 – Estrutura da pesquisa.....	39
Figura 3.2 – Injetora de preforma Netstal.....	41
Figura 3.3 – Layout da linha de produção de Água Mineral.	42
Figura 3.4 – Rede de ar comprimido de alta pressão.....	44
Figura 3.5 – Processos principais e auxiliares.....	49
Figura 4.1 – Entradas e saídas dos processos principais de produção.....	56
Figura 4.2 – Crescimento de produção de água sem gás em garrafas de 500 ml.....	57
Figura 4.3 – Entradas e saídas dos processos auxiliares de produção.....	58
Figura 4.4 – Consumo de energia da injetora nas preformas de 16 e 13,5 g.....	65
Figura 4.5 – Estimativa de consumo de energia para preformas de diferentes massas.....	66
Figura 4.6 – Consumos de energia com alteração na pressão da rede de ar de alta pressão	69
Figura 4.7 – Consumo de energia para a geração de ar de alta pressão por embalagem.....	69
Figura 4.8 – Consumo de energia por unidade produzida.....	72
Figura 4.9 – Emissão de CO ₂ equivalente	74
Figura 4.10 - Comparativo entre o Fator Médio de Emissões e Emissão de CO ₂ equivalente	75
Figura 4.11 – Gastos com energia por volume de água engarrafada.....	76
Figura 4.12 – Estimativa de economia com reduções de massa na embalagem	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Consumo de energia no Brasil por região geográfica (GWh).....	21
Tabela 2.2 – Tarifas médias no Brasil por região (R\$/MWh).....	21
Tabela 2.3 – Etapas do P+L conforme PDCA.....	36
Tabela 3.1 – Preço da resina PET.....	41
Tabela 3.2 – Compressores de ar da central de utilidades.....	43
Tabela 3.3 – Indicador de desempenho econômico.....	45
Tabela 3.4 – Fatores Médios de Emissões de CO ₂ (tCO _{2eq} /MWh) para o ano de 2017.....	46
Tabela 3.5 – Indicadores de desempenho ambiental.....	47
Tabela 3.6 – Lista de Aspectos Ambientais.....	50
Tabela 3.7 – Lista de Impactos Ambientais.....	51
Tabela 3.8 – Avaliação da severidade dos impactos ambientais.....	52
Tabela 3.9 – Avaliação da abrangência dos impactos ambientais.....	53
Tabela 3.10 – Avaliação da probabilidade dos impactos ambientais.....	53
Tabela 4.1 – Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA).....	60
Tabela 4.2 – Consumo de energia por litro de água produzida.....	62
Tabela 4.3 – Consumos de energia por litro produzido nos dois semestres de 2017.....	72

LISTA DE SIGLAS

ABINAM	Associação Brasileira da Indústria de Águas Minerais
ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRE	Associação Brasileira de Embalagem
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BMC	<i>Beverage Marketing Corporation</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro Para o Desenvolvimento Sustentável
CIP	<i>Clean In Place</i>
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETA	Estação de Tratamento de Águas
FME	Fatores Médios de Emissões
GEE	Gases de Efeito Estufa
IBWA	<i>International Bottled Water Association</i>
ICIS	<i>Independent Chemical Information Service</i>
LAIA	Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais
LCA	<i>Life Cycle Assessment</i>
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
NBR	Normas Brasileiras de Regulação
P+L	Produção Mais Limpa
PDCA	<i>Plan – Do – Check – Act</i>
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Politereftalato de Etileno
PNC	Produto Não Conforme
PP	Polipropileno
PPM	Partes Por Milhão
RN	Recursos Naturais

RNR	Recursos Não Renováveis
SIN	Sistema Interligado Nacional
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
VPL	Valor Presente Líquido
WRI	<i>World Resources Institute</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 Objetivos.....	17
1.1.1 Objetivo Geral	17
1.1.2 Objetivos Específicos	17
1.2 Justificativa	18
1.3 Estrutura da Pesquisa	20
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Consumo de Energia no Brasil.....	21
2.2 Consumo de Energia de Empresas de Bebidas no Brasil	22
2.3 Processo de Produção de Água Mineral.....	22
2.3.1 Politereftalato de Etileno (PET)	23
2.3.2 Processo de Injeção de Preformas	24
2.3.3 Processo de Sopragem de Garrafas	27
2.3.4 Produção de Água Mineral.....	30
2.4 Gestão Ambiental	30
2.4.1 Geração de Resíduos em Indústrias de Bebidas.....	31
2.4.2 Aspectos e Impactos Ambientais	32
2.4.3 Produção Mais Limpa	32
3 MATERIAIS E MÉTODOS	38
3.1 Apresentação do Estudo de Caso	40
3.2 Planejamento e Organização	44
3.2.1 Medições de Consumo de Energia	44
3.2.2 Indicador de Desempenho Econômico.....	45
3.2.3 Indicadores de Desempenho Ambiental.....	46
3.3 Pré Avaliação e Diagnóstico	47
3.3.1 Etapas do Processo Produtivo de Água Mineral	47
3.3.2 Análise de Entradas e Saídas dos Processos	48
3.3.3 Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA)	49
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	55
4.1 Avaliação	55
4.1.1 Análise Qualitativa das Entradas e Saídas dos Processos Principais.....	55
4.1.2 Análise Qualitativa das Entradas e Saídas dos Processos Auxiliares	57

4.1.3 Levantamento dos Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA).....	58
4.1.4 Consumo de Energia nos Processos	61
4.2 Oportunidades de Melhoria.....	63
4.2.1 Consumo de Energia na Fabricação da Preforma	63
4.2.2 Consumo de Energia na Geração de Ar Comprimido de Alta Pressão	67
4.3 Indicadores de Desempenho Ambiental	70
4.3.1 Energia por Volume de Água Engarrafada	71
4.3.2 Energia por Garrafa Acabada.....	72
4.3.3 Emissão de CO ₂ Equivalente	73
4.4 Indicador de Desempenho Econômico.....	75
4.4.1 Gastos com Energia por Volume de Água Engarrafada	75
5 CONCLUSÕES.....	78
5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros.....	79
REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

A maioria das águas minerais engarrafadas no mundo são produzidas em garrafas PET e seu consumo cresce continuamente (ORSET; BARRET; LEMAIRE, 2017). Segundo as estatísticas preliminares de 2017 da *Beverage Marketing Corporation* (BMC), as vendas de água mineral engarrafada continuam aumentando, sendo inclusive, a principal bebida (em volume) consumida nos Estados Unidos. (DNPM, 2015).

O Brasil, segundo dados da BMC, é o 5º maior consumidor de água engarrafada no mundo. Em 2014, o país consumiu cerca de 19,5 bilhões de litros de água mineral, crescendo 7,4% em relação ao ano anterior. O consumo per capita foi de 96,2 litros por ano, crescendo 6 litros com relação ao ano anterior (DNPM, 2015). Porém, segundo Garfí et al. (2016) e Gleick e Cooley (2009), a produção de água mineral engarrafada gera maiores impactos ambientais se comparado com a produção de água da torneira. Isto ocorre principalmente devido ao alto consumo de energia e matéria prima. O consumo de energia para produzir 1 litro de água mineral envasada é aproximadamente 2000 vezes maior se comparado com o consumo para produzir 1 litro de água da torneira. Consequentemente, esse custo vem sendo repassado para os consumidores.

A revista *Engarrafador Moderno* (2016) comenta que os maiores consumos estão na produção da embalagem. Isso justifica o trabalho que as empresas estão fazendo para reduzir a massa das garrafas PET, conforme dados da IBWA (2015). A redução de massa nas embalagens impacta não somente no valor da matéria prima, mas também no uso da energia nos processos.

Gleick e Cooley (2009) mostram que há um grande potencial de redução no consumo de energia, tornando os processos mais eficientes. Somente com a produção de embalagens mais leves, os custos podem ficar até 30% menores. No Brasil, os custos de fabricação são ainda maiores, levando em consideração que as embalagens produzidas são mais pesadas se comparadas com a média mundial, segundo dados da revista *Engarrafador Moderno* (2016).

Segundo Silva, Medeiros e Vieira (2017), a aplicação da Produção Mais Limpa (P+L) visa a melhor utilização dos recursos empregados nos processos, trazendo diversos benefícios ambientais e econômicos. Através de melhorias implementadas pelas equipes de trabalho, o uso mais eficiente dos recursos torna o processo menos impactante sobre as pessoas e o meio ambiente.

Toda pesquisa foi realizada na empresa Bebidas Fruki S.A. Empresa familiar de bebidas, localizada no estado Brasileiro do Rio Grande do Sul é composta atualmente por, aproximadamente, 900 profissionais. A empresa possui uma capacidade produtiva anual de 420

milhões de litros de bebidas e tem seu foco de atuação no mercado gaúcho e catarinense. Com um parque industrial de 25.000 m², a Fruki é líder de mercado no estado em venda de água mineral. A Fig. (1.1) mostra a empresa através de uma imagem aérea, possibilitando visão completa de seu tamanho e estrutura.

Figura 1.1 – Imagem aérea da Bebidas Fruki S.A.



Fonte: Bebidas Fruki S.A. (2017).

Com um setor produtivo composto de sete linhas de produção, a Fruki produz água mineral em embalagens retornáveis de 20 litros e não retornáveis (PET) de diversos volumes. Além de água mineral, são produzidos refrigerantes em embalagens retornáveis de vidro e não retornáveis (PET). O repositor energético Frukito também é produzido em embalagens não retornáveis de PET.

A presente pesquisa apresenta a utilização de conceitos da P+L para entender o uso da energia no processo de produção de água mineral engarrafada e seus impactos econômicos e ambientais. Com a implementação de melhorias nos processos chaves, essa pesquisa demonstra formas de tornar o processo mais eficiente energeticamente, trazendo reduções nos custos de produção e no uso de matérias primas.

1.1 Objetivos

Os objetivos desta pesquisa estão descritos a seguir.

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar, do ponto de vista ambiental e econômico, o uso da energia no processo de produção de água mineral, aplicando conceitos de Produção Mais Limpa (P+L) para implementar melhorias e tornar o processo mais eficiente.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Identificar e quantificar o consumo de energia elétrica nas principais etapas do processo de fabricação;
- b) Avaliar o impacto ambiental nas principais etapas do processo;
- c) Avaliar o impacto econômico nas principais etapas do processo;
- d) Avaliar as oportunidades de melhorias e implementá-las.

1.2 Justificativa

Vásquez et al. (2009) já mostravam em 2009 que o consumo de água engarrafada vinha aumentando continuamente em função da preocupação da população mundial com a saúde humana. Inclusive, consumidores passaram a aceitar pagar mais por produtos que oferecessem a garantia de maior segurança alimentar (LAGIOIA; CALABRÓ; AMICARELLI, 2012). Porém, Soares (2014) diz que, no setor de água mineral, há pequena exigência do consumidor quanto à marca e pouca margem financeira das empresas com a venda de água mineral engarrafada. Em função disso, as empresas são obrigadas a tornar o produto mais competitivo, diminuindo os custos de fabricação.

Aumentar o desempenho do uso da energia na produção de água mineral em garrafas PET é um fator fundamental para diminuição dos custos de fabricação. Identificar os processos com maior consumo de energia e trabalhar para torna-lo mais eficiente traz maior competitividade do produto, fator cada vez mais importante em um cenário de alta concorrência.

A aplicação dos conceitos da P+L não trouxe somente benefícios econômicos para a empresa, uma vez que o objetivo principal foi diminuir o consumo de energia na produção de água mineral. Benefícios ambientais também foram de alta relevância, pois, mesmo tendo mais de 60% da energia no Brasil sendo gerada a partir de fontes hidráulicas, a geração também traz impactos ambientais.

O uso de materiais também foi um fator importante considerado na pesquisa, pois, além de ser necessária energia para se produzir as matérias primas, diminuir o uso de materiais trouxe consequentemente uma redução no desperdício, o que trouxe benefícios ambientais e econômicos relevantes.

Na empresa onde a pesquisa foi realizada, o uso da energia elétrica representa um dos principais custos na fabricação dos produtos. Este fato foi levado em consideração em 2011, data em que foi implantada a P+L. O consumo de energia foi levantado como sendo um dos vinte estudos de caso potenciais, porém, devido à impossibilidade de extração de dados de forma estratificada, esse estudo não acabou sendo realizado. No período de 2011 a 2017 a P+L trouxe diversos benefícios para a empresa. Com as melhorias, ficou ainda mais representativo o impacto da energia nos processos de fabricação. Levando isso em consideração, no ano de 2017, foi realizado o estudo de caso referente ao uso da energia no processo de produção de

água mineral, utilizando os conceitos da P+L, desde o levantamento do consumo até a análise dos impactos das melhorias implementadas.

Foi escolhido utilizar os conceitos da P+L devido a diversos fatores. Dentre eles, a importância do programa e a seriedade com que a empresa deu ao P+L desde a sua implementação fazendo com que os conceitos já estivessem enraizados na cultura dos profissionais. Juntando esse fator com a representatividade do uso da energia nos processos e a necessidade de se avaliar seus impactos econômicos e ambientais, identificada desde a implementação da P+L, foram escolhidos os conceitos da ferramenta para atingir os objetivos esperados com a pesquisa, tanto ambientais como econômicos.

1.3 Estrutura da Pesquisa

Este trabalho está fundamentado em 5 capítulos. O primeiro capítulo introduz o assunto da pesquisa, explicita os objetivos principais e específicos e a justificativa do estudo.

O segundo capítulo apresenta o referencial teórico da pesquisa. Nele, mostra-se um comparativo dos consumos de energia elétrica e tarifas pagas nas diversas regiões do Brasil. Ao longo do capítulo, também é mostrado o processo de produção de água mineral engarrafada, descrevendo os consumos de energia em cada etapa do processo. A gestão ambiental e a P+L também são apresentados no mesmo capítulo.

No capítulo três é apresentada a metodologia da pesquisa, mostrando a estrutura da empresa na qual foi realizado o estudo, as etapas para a realização da pesquisa e os dados técnicos dos equipamentos utilizados para coleta das informações.

O capítulo 4 descreve os resultados obtidos na pesquisa, iniciando com a interpretação dos dados coletados, apresentando o levantamento de aspectos e impactos ambientais e mostrando as ações de melhorias sugeridas e implementadas ao longo da pesquisa.

Por fim, no último capítulo da dissertação, é realizada a conclusão da pesquisa, as considerações finais e as sugestões para continuação do estudo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é apresentada a revisão bibliográfica usada para fundamentar a pesquisa.

2.1 Consumo de Energia no Brasil

Conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), apresentados através do Anuário Estatístico de Energia Elétrica de 2016, a média do consumo de energia das empresas brasileiras cresceu 12.653 GWh no período entre 2012 e 2016 (EPE, 2017). A Tab. (2.1) apresenta o consumo de energia nas diferentes regiões geográficas do Brasil entre os anos de 2012 a 2016, mostrando o aumento no consumo no período.

Tabela 2.1 – Consumo de energia no Brasil por região geográfica (GWh).

	2012	2013	2014	2015	2016	Varição
Norte	29.098	30.209	32.364	33.413	34.071	4.973
Nordeste	75.610	79.694	80.746	79.979	80.147	4.537
Sudeste	235.259	240.084	242.513	234.712	229.970	- 5.289
Sul	77.491	80.393	84.819	82.012	82.063	4.572
Centro-Oeste	30.718	32.755	34.381	34.860	34.579	3.861
Brasil	448.176	463.134	474.823	464.976	460.829	12.653

Fonte: Adaptado de EPE (2017).

As regiões que tiveram o maior crescimento foram as regiões Norte e Sul, com aumento no consumo em 39% e 36%, respectivamente. Nas tarifas de energia elétrica, conforme Tab. (2.2), a região Sul do Brasil teve o segundo maior aumento entre as médias das demais regiões do país, 49,73% e o custo médio da tarifa em 2016 foi de 415,10 R\$/MWh (EPE, 2017).

Tabela 2.2 – Tarifas médias no Brasil por região (R\$/MWh).

	2012	2013	2014	2015	2016	Varição
Norte	321,17	276,68	303,53	372,93	419,75	98,58
Nordeste	297,09	250,52	269,05	340,00	367,64	70,55
Sudeste	294,78	260,24	282,22	413,04	441,65	146,87
Sul	277,23	235,15	264,27	409,28	415,10	137,87
Centro-Oeste	290,41	257,74	273,63	398,07	419,38	128,97
Brasil	292,85	254,45	276,97	395,00	419,09	-

Fonte: Adaptado de EPE (2017).

2.2 Consumo de Energia de Empresas de Bebidas no Brasil

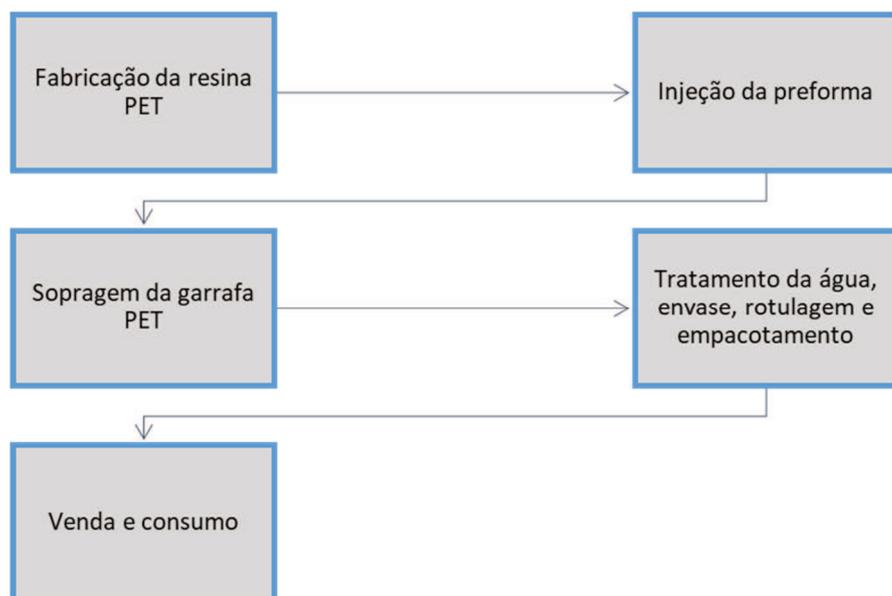
Em 2016, o consumo de energia das indústrias do gênero de fabricação de bebidas correspondeu a apenas 1,4% do consumo do setor industrial brasileiro, tendo um crescimento de 1,7% com relação ao ano anterior. O setor industrial brasileiro reduziu o consumo em 2,4% no mesmo período. (EPE, 2017).

Analisando a representatividade do ramo, a taxa média de crescimento do volume produzido pelas indústrias de bebidas de 2004 a 2013 foi de 4,2% ao ano enquanto a taxa média de crescimento real do PIB nacional foi de apenas 3,7% ao ano. O setor de bebidas no Brasil, em 2013, foi responsável por empregar 144 mil pessoas, o que corresponde a cerca de 2,2% do pessoal ocupado na indústria de transformação do país. (BNDES, 2014).

2.3 Processo de Produção de Água Mineral

É necessário usar energia para produzir, empacotar, transportar, refrigerar, e reciclar água mineral e sua embalagem. Para Gleick e Cooley (2009), a quantificação da energia necessária para a fabricação e distribuição da água mineral é dificultada pela quantidade de variáveis, incluindo o tipo da fonte, distância entre o engarrafador e o consumidor, tipos de materiais utilizados, forma de transporte, entre outros. Os processos de produção de água mineral engarrafada são representados na Fig. (2.1.)

Figura 2.1 – Processos de produção de água mineral engarrafada.



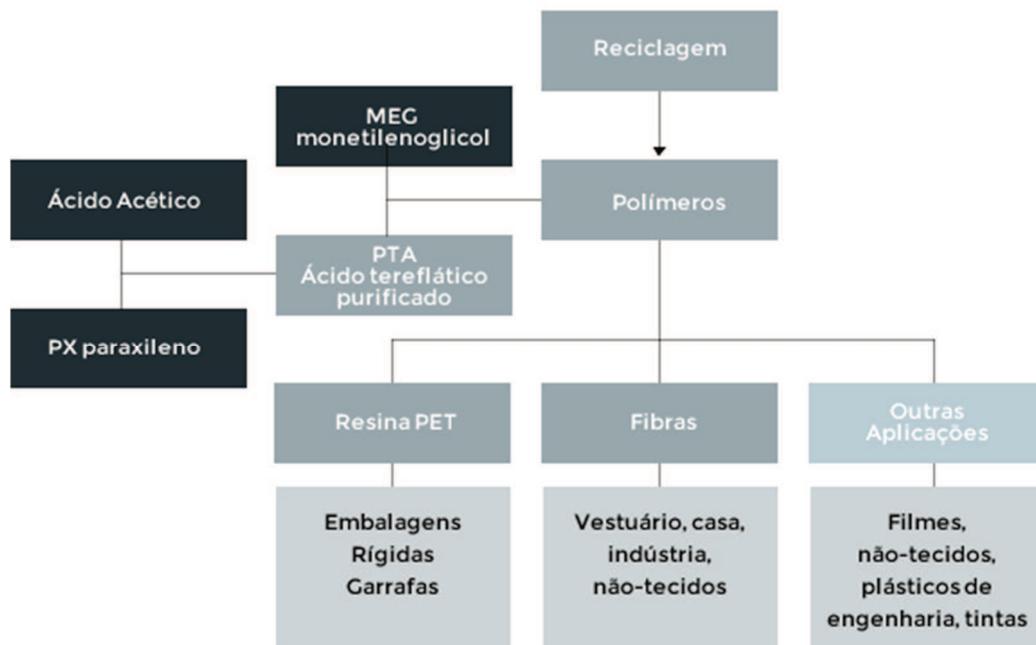
Fonte: Gleick e Cooley (2009).

A produção da embalagem inicia com a fabricação da resina, seguido pela injeção da preforma e sopragem da garrafa PET respectivamente. Após a produção da embalagem, inicia o processo de tratamento, envase e acondicionamento do produto, pronto para a venda. Por último, ocorre a venda e o consumo.

2.3.1 Politereftalato de Etileno (PET)

Apesar de conhecido mundialmente como material de embalagem de bebidas, o PET foi desenvolvido em 1941 na indústria têxtil. Devido às consequências da Segunda Guerra Mundial, o poliéster surgiu como alternativa para a substituição do algodão. Classificado como um poliéster termoplástico, o Politereftalato de Etileno (PET) é um material reciclável, originado da mistura de etileno-glicol e ácido tereftálico. (LAGIOIA; CALABRÓ; AMICARELLI, 2012), (GLEICK; COOLEY, 2009). Além do uso da resina, o PET também é utilizado na indústria de fibras, como em tecidos e em outras aplicações, como plásticos de engenharia e tintas, conforme mostra a Fig. (2.2).

Figura 2.2 – Cadeia produtiva do PET



Fonte: M&G (2017).

Em 1962, o PET passou a ser utilizado na fabricação de pneus, onde ficou evidente a sua resistência mecânica. O surgimento das primeiras embalagens de PET ocorreu no início da

década de 1970, nos Estados Unidos. No Brasil, o material passou a ser utilizado em embalagens somente na década de 1990. (ABIPET, 2012). Atualmente, o PET é utilizado principalmente na fabricação de embalagens, o que corresponde a 71%. (ROMÃO; SPINACÉ; PAOLI, 2009). Segundo Eerhart, Faaij e Patel (2012), o uso do PET na produção de garrafas representa 5,9% da produção global de plásticos e 0,2% do consumo global da energia primária.

O PET possui um símbolo de identificação de reciclagem e é utilizado para identificar o material plástico a ser reciclado e é normalmente impresso no fundo da embalagem, em auto relevo. (GLEICK; COOLEY, 2009); (ABRE, 2018).

2.3.2 Processo de Injeção de Preformas

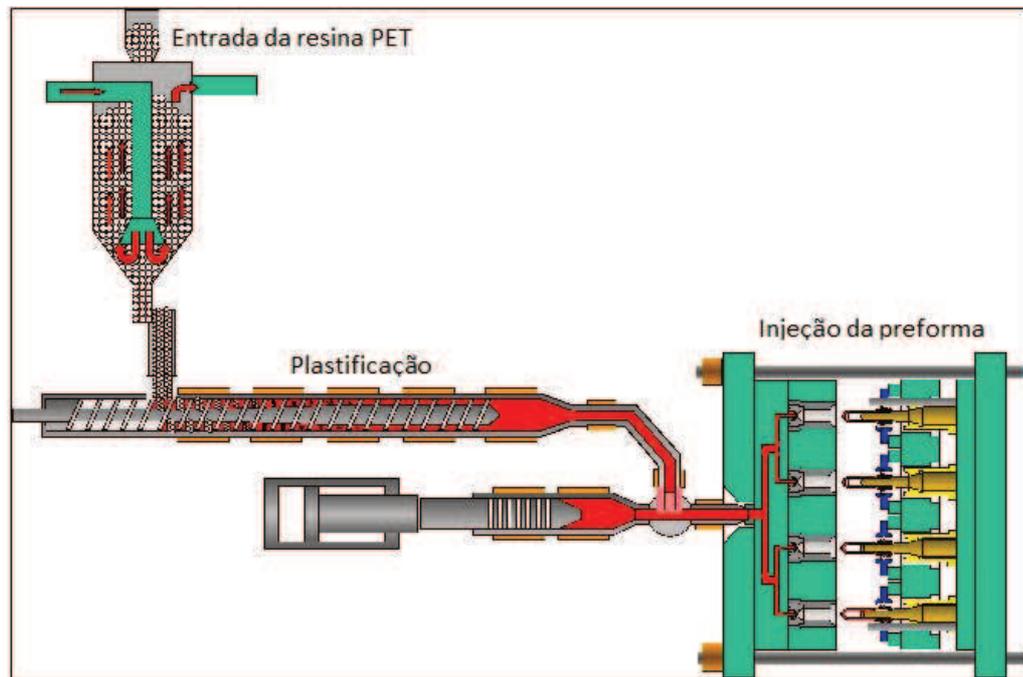
Normalmente, as empresas compram as preformas prontas para o processamento, porém, algumas empresas fabricam suas próprias embalagens a partir da compra da resina PET. (LAGIOIA; CALABRÓ; AMICARELLI, 2012).

A fabricação da embalagem inicia-se na fusão da resina de PET e posterior injeção em um molde. Deste processo, forma-se a preforma (pequena embalagem com parede grossa, gargalo acabado e rosca para recebimento da tampa após o processo de envase). (GLEICK; COOLEY, 2009).

A secagem da resina é o início do processo e é uma das etapas mais críticas devido à resina PET ser um material higroscópico. Segundo a ABIPET (2012), a umidade dos grãos de PET pode chegar a representar até 0,6% da massa se não for protegido durante o armazenamento. A etapa de alimentação consiste na entrada da resina PET já seca na injetora. O material entra no estado sólido com aproximadamente 100°C. A mudança de estado sólido para o estado líquido chama-se plastificação. Nela, a resina é aquecida e plastificada através do aquecimento gerado por resistências elétricas e zonas de pressão controladas. Nesta etapa, a resina atinge temperaturas de aproximadamente 300°C. Por fim, a injeção do PET em um molde resfriado faz com que as preformas tomem forma e fiquem em estado sólido rapidamente. (ABIPET, 2012).

A produção de preformas PET é normatizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) pela NBR15588:2008. (ABIPET, 2012). O processo de injeção é apresentado na Fig. (2.3).

Figura 2.3 – Processo de injeção de PET



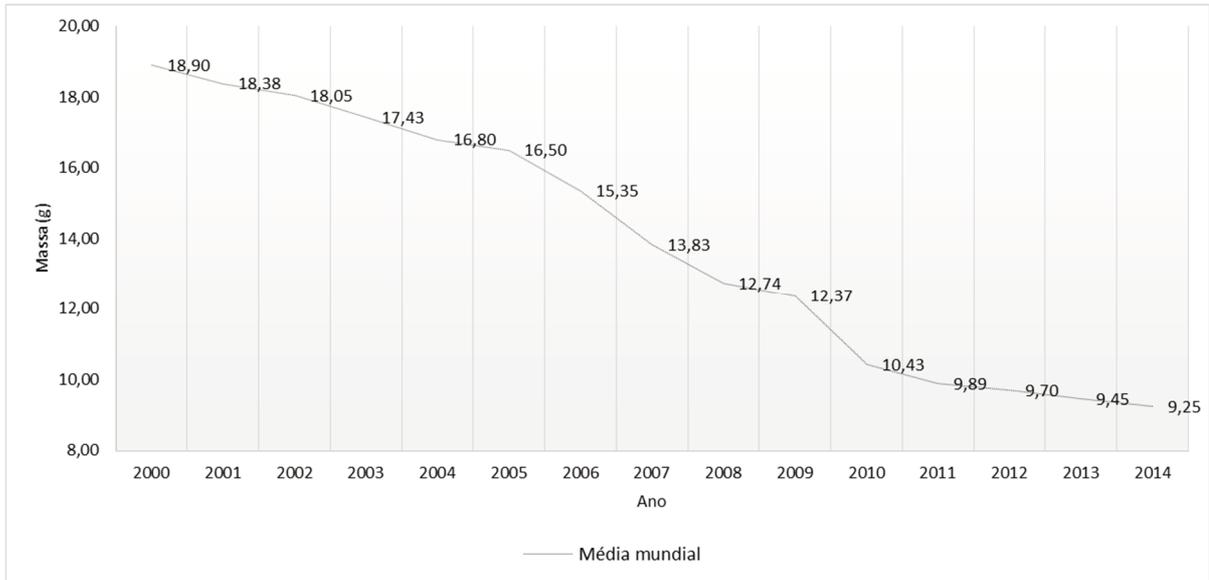
Fonte: M&G Chemicals S.A. (2012).

Embalagens de PET são amplamente utilizadas em todo o mundo. Por possuir uma boa permeabilidade aos gases, ter boa resistência mecânica e apresentar alta durabilidade, é um material muito utilizado para diversas aplicações, incluindo as embalagens de alimentos e bebidas. Porém, a estabilidade das embalagens de PET as torna altamente resistentes à biodegradação, podendo levar cerca de 500 anos para se decompor. (ORSET; BARRET; LEMAIRE, 2017).

De acordo com a revista Engarrafador Moderno (2016), 70% dos custos de produção de uma garrafa PET estão no uso da resina para a fabricação da embalagem. Gleick e Cooley (2009) mostraram que são necessários cerca de 20 MJ de energia para cada quilograma de garrafa acabada.

Em função disso, há um esforço das empresas de bebidas para reduzir o consumo de energia na fabricação das garrafas. Cada vez mais, empresas estão buscando produzir embalagens mais leves, consequentemente, reduzindo os custos de fabricação. Se todos os fabricantes de água mineral no mundo produzissem embalagens mais leves, a produção de PET seria reduzida para em torno de 30%. (GLEICK; COOLEY, 2009). A Fig. (2.4) mostra a média mundial de massa de garrafas PET de 500 ml para água mineral.

Figura 2.4 – Média de massa de garrafas de 500 ml para água mineral.



Fonte: IBWA (2015).

Conforme o gráfico da Fig. (2.4), a massa média mundial de uma garrafa de 500 ml em 2014 foi de 9,25 g, 51% menos do que no ano 2000, onde a média mundial estava em 18,9g. Desde o ano 2000 foram economizados quase 2,9 bilhões de kg de resina no mundo devido aos trabalhos das indústrias de embalagens na redução da massa das garrafas. (IBWA, 2015).

No Brasil, entre os anos de 2001 e 2012, houve uma redução média de 21,1% na massa das garrafas PET para bebidas carbonatadas, conforme dados da Associação Brasileira da Indústria do PET. (ABIPET). A embalagem de 500 ml sofreu a maior redução da massa no período (26,4%), mesma redução que as embalagens de 250 ml e 600 ml. (ABIPET, 2014). A massa média de uma embalagem de 500 ml no Brasil é de 12 g. Comparando a média brasileira com a média mundial, o Brasil está produzindo garrafas com a massa igual à média mundial de 2009, ou seja, uma defasagem média de 5 anos. Estes resultados mostram que ainda há potencial de redução de massa, especialmente na América do Sul, onde garrafas de água mineral com volume de 500 ml estão recém começando a ser produzidas com massa de 8,9 g.

Tornar as embalagens cada vez mais leves é resultado de constantes modificações nas regiões de concentração de material e a rosca das garrafas, mostrada na Fig. (2.5), é uma dessas regiões. As modificações na rosca das garrafas possibilitaram a utilização de tampas cada vez menores, trazendo resultados consideráveis, uma vez que boa parte do material das garrafas está concentrado na região onde recebe a tampa. Desenvolvimento de moldes que formassem embalagens com bases mais resistentes, mesmo com menos concentração de PET, também

foram fundamentais ao longo dos anos para tornar possíveis a utilização de preformas mais leves, reduzindo assim, a pressão de sopragem.

A Fig. (2.5) mostra a evolução na geometria das preformas PET ao longo dos anos. A parte da direita mostra as alterações no formato das preformas nos últimos anos, deixando a embalagem menor, menos espessa e, portanto, mais leve.

Figura 2.5 – Alterações na geometria das preformas nos últimos anos.



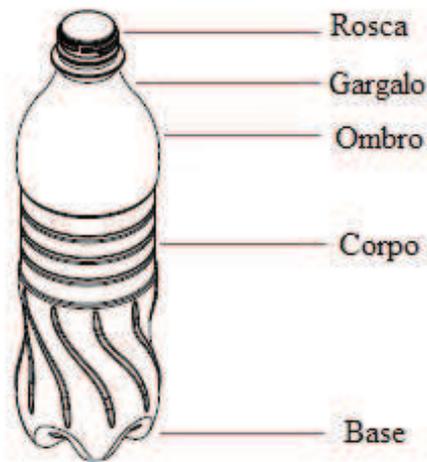
Fonte: Adaptado de ABIPET (2014).

Segundo Arne Wiese, gerente de desenvolvimento de embalagens na empresa alemã KHS Corpoplast, para uma empresa com capacidade de produção de 300 milhões de garrafas PET, o potencial de redução de custos com a redução de massa das embalagens é de até €450.000,00 por ano para cada grama reduzida. (ENGARRAFADOR MODERNO, 2016). Na Europa, o conceito de embalagens leves já está difundido entre as principais envasadoras de água mineral.

2.3.3 Processo de Sopragem de Garrafas

Conforme Eerhart et al. (2012), a produção de garrafas PET cresce cerca de 15 Mt por ano, equivalendo a 5,9% da produção global de plásticos e representando 0,2 % do consumo de energia primária. A Fig. (2.6) mostra uma garrafa PET com volume de 500 ml e suas principais partes.

Figura 2.6 – Garrafa PET 500 ml.



Fonte: Autor (2017).

A moldagem da garrafa ocorre através do processo de sopragem, no qual a preforma formada, anteriormente por um processo de injeção, sofre uma deformação após o aquecimento e aplicação de ar comprimido dentro de um molde. (HADDAD; MASOOD; ERBULUT, 2009). O aquecimento da preforma ocorre com o uso de lâmpadas de infravermelho, deixando o PET em uma temperatura aproximada de 110°C. O processo de sopragem ocorre logo após a passagem das preformas nos fornos de aquecimento e é detalhado pela Fig. (2.7).

Figura 2.7 – Processo de sopragem de garrafas PET.



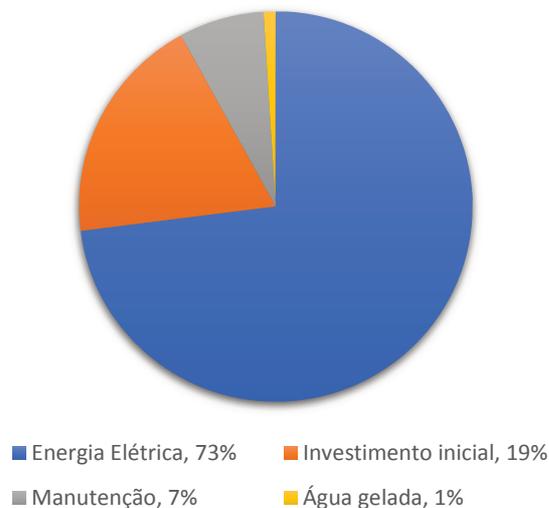
Fonte: Janlux (2016).

Para fornecer ar comprimido ao processo de sopragem, é necessário o uso de recursos para a pressurização do ar na pressão ambiente até a pressão de trabalho.

Segundo Dudić et al. (2012), cerca de 75% dos custos para a produção de ar comprimido são referentes ao uso da energia, conforme mostra a Fig. (2.8). O restante dos custos está associado com o investimento inicial dos compressores e gastos com manutenção dos

equipamentos. Esta informação é reforçada por Saidur, Rahim e Hasanuzzaman (2010), que dizem, inclusive, que os gastos com energia elétrica nos sistemas de ar comprimido podem representar 70% a 90% do total dos custos. Além disso, os gastos com energia elétrica nos sistemas de ar comprimido representam cerca de 10% do consumo de energia elétrica total nos países da União Europeia, China, África do Sul e Malásia. (SAIDUR; RAHIM; HASANUZZAMAN, 2010).

Figura 2.8 – Principais gastos com a produção de ar comprimido na indústria.



Fonte: Dudić et al. (2012).

Sabendo dos custos para a geração de ar comprimido, as empresas buscam aumentar a eficiência energética no uso do insumo para o processo de sopragem trabalhando com pressões cada vez menores. Essa ação, além de gerar uma economia no consumo de energia, gera menor desgaste mecânico nos compressores de ar.

Dessa forma, para possibilitar a redução de massa nas embalagens e de energia nos processos, sem comprometer a qualidade das embalagens, além dos trabalhos no processo de injeção, também foram realizadas melhorias no processo de sopragem. Novas bases de garrafas foram desenvolvidas através de alterações nos projetos dos moldes de sopragem o que possibilitou uma melhor distribuição de material, aumentando a resistência da embalagem. Garrafas com desenhos em alto-relevo no corpo também começaram a surgir com o intuito de aumentar sua resistência, mantendo uma parede mais fina, o que possibilita a formação das embalagens com pressões de sopragem reduzidas, além de menor utilização de matéria prima.

2.3.4 Produção de Água Mineral

A IBWA define como sendo água mineral, água natural que contém pelo menos 250 Partes Por Milhão (PPM) de sólidos dissolvidos totais. A água mineral se diferencia das demais águas engarrafadas pelo nível constante e proporções relativas de elementos minerais. Nenhum mineral é adicionado à água para torná-la mineral. (IBWA, 2015).

O tratamento da água necessário para o envase varia de acordo com a qualidade da água de origem e pode ser composto pelos métodos de radiação ultravioleta, filtração, osmose reversa e ozonização. Apesar do tratamento necessário, a energia gasta para o processamento da água é muito pequena com relação à energia necessária para a fabricação da embalagem. (GLEICK E COOLEY, 2009). Segundo dados da IBWA, são necessários em média 0,2 MJ para se produzir 1 litro de água. (IBWA, 2015). Este dado é confirmado por Lagioia, Calabro e Amicarelli (2012), que dizem que é necessário 0,26 MJ para cada litro de água engarrafada.

Para Gleick e Cooley (2009), o maior consumo de energia no processo de produção de água mineral engarrafada ocorre na fabricação e transporte de garrafas, não no processamento da água mineral.

Também faz parte do processo produtivo o enxágue das garrafas, a aplicação de tampas, colocação de rótulos, formação dos pacotes e transporte das garrafas até o estoque. Segundo Gleick e Cooley (2009), em média, a energia total usada para limpar, encher, lacrar, rotular e embalar garrafas é cerca de 0,014 MJ por garrafa.

2.4 Gestão Ambiental

Para Miranda et al. (2011), as empresas estão enfrentando desafios competitivos devido ao aumento da globalização. Devido a isso, o uso de ferramentas para a gestão ambiental é de extrema importância para melhorar o desempenho na área, utilizando os recursos de forma sustentável.

Conforme define a *United States Environmental Protection Agency* (EPA), um sistema de gestão ambiental é um conjunto de processos e práticas gerenciais com a finalidade de identificar e reduzir os impactos ambientais, deixando as empresas mais competitivas e sustentáveis. (EPA, 2017). No Brasil, as empresas tendem a se beneficiar com o desempenho ambiental não só com os resultados ambientais, mas como um diferencial no mercado. Em alguns casos, inclusive, estas empresas vêm adotando requisitos internos mais restritivos aos legalmente impostos no País. (NOGUEIRA; LAUDARES; BORGES, 2013). Entretanto, a

maioria das organizações brasileiras explora pouco as práticas ambientais por estarem preocupadas com o cumprimento legal das leis impostas pelos órgãos ambientais. (SEVERO et al., 2014).

Vários autores possuem diferentes definições para a gestão ambiental, entretanto, todas possuem uma abordagem sistemática para as questões ambientais em todos os níveis organizacionais, desde o estratégico até o nível operacional. (JABBOUR, 2010). Sistemas de gestão ambiental, como ISO 14001, P+L e Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) são formas de diminuir o impacto ambiental em mercados emergentes. (BONILLA et al., 2010).

Dentre as diversas ferramentas de gestão ambiental, a metodologia de ACV é uma das abordagens mais conceituadas para a gestão ambiental e é usada para comparação de desempenho de sistemas de reciclagem ou descarte. O método considera o ambiente como um todo, incluindo a análise do consumo de energia e materiais, emissões e eliminação de resíduos acompanhando cada etapa, desde a extração da matéria prima até o descarte do resíduo no aterro. (PERUGINI, MASTELLONE, ARENA, 2005).

2.4.1 Geração de Resíduos em Indústrias de Bebidas

O consumo de água mineral em garrafas PET cresce continuamente. Em 2004, o volume de água engarrafada foi quase o dobro do volume envasado em 1997. Com isso, a taxa de crescimento anual do consumo de garrafas PET no mundo, no período de 2008 a 2013 foi de 6,2%. (IBWA, 2015). O resíduo decorrente de embalagens é um dos principais problemas em diversos países. Em países desenvolvidos, devido à grande industrialização, as embalagens chegam a representar em torno de 35% dos resíduos sólidos municipais. (TENCATI et al., 2016). Do ponto de vista de material, para cada 1 kg de PET depositado em aterro, são desperdiçados, em média, de 1,5 a 1,7 kg de matérias prima consumidas para a fabricação. (GLEICK; COOLEY, 2009).

Garfí et al. (2016) analisou a produção de água mineral em garrafas de vidro e em embalagens PET. No estudo realizado, foi visto que o consumo de energia para a produção de vidro é maior em comparação ao envase em garrafas PET que, por sua vez, é maior que a água da torneira. O resultado do consumo de energia para a produção de envase de água em garrafas de vidro foi maior principalmente devido à maior massa da embalagem com relação ao PET e ao maior uso de matéria prima. Com isso, é possível identificar uma relação entre o desempenho energético e o uso de matérias prima usadas, principalmente, nas embalagens.

2.4.2 Aspectos e Impactos Ambientais

A avaliação dos aspectos e impactos ambientais visa identificar as ações humanas, gerando ações focadas para monitorar as consequências, reduzi-las ou mitigá-las. (SILVA; MORAES; MACHADO, 2015).

A matriz mais conhecida é a proposta por Leopold em 1971 para o Serviço Geológico do Interior dos Estados Unidos. Relacionando ações a vários fatores ambientais, a Matriz de Leopold é uma ferramenta bidimensional simples que, na sua forma original, foi constituída de 100 colunas e 88 linhas, possibilitando 8800 combinações. Porém, devido ao número de interações e as dificuldades de se trabalhar com todas elas, a matriz vem sendo reduzida e adaptada para cada estudo. (SOUSA et al., 2011), (KAERCHER et al., 2013).

Em uma dimensão, são relacionadas as características e condições existentes. Na outra dimensão são relacionadas as ações que podem causar impactos ambientais. (SOUSA et al., 2011). Basicamente, a matriz consiste em relacionar as possíveis interações entre os fatores e as ações para depois avaliar a importância dos impactos.

Na pesquisa, a matriz elaborada para avaliação dos aspectos e impactos foi adaptada da matriz de Leopold e denominada LAIA. Para cada aspecto, são avaliados os diversos impactos, pontuando-os de acordo com suas severidades. Níveis de abrangência, probabilidade, importância, consequência também são pontuados de forma que o resultado de cada um deles, juntamente com a análise das severidades, gerem um resultado de significância para cada aspecto. O método será abordado com mais detalhes no capítulo 4.1.3.

2.4.3 Produção Mais Limpa

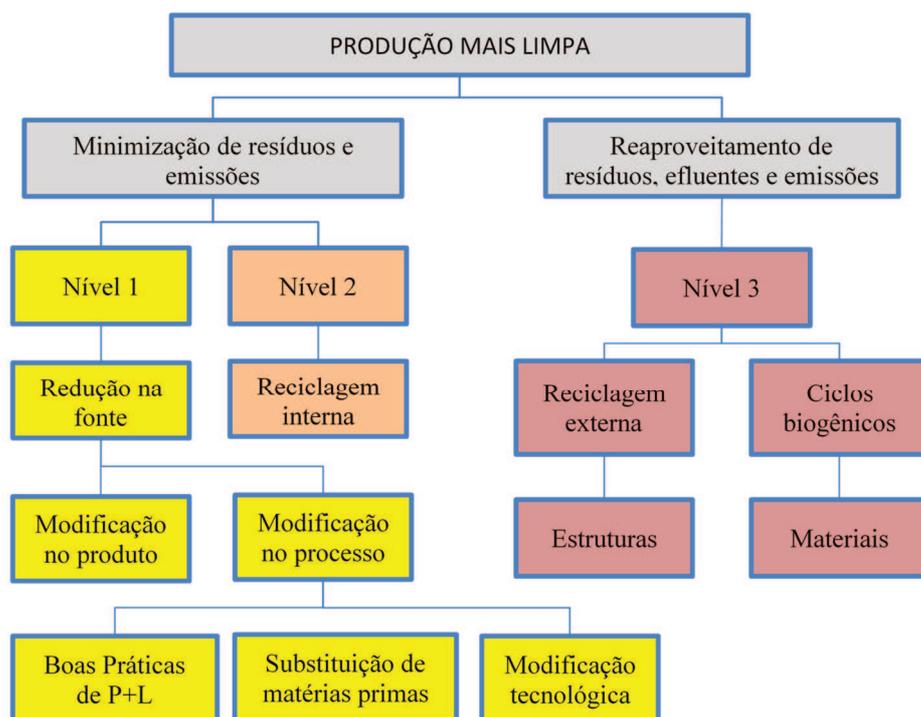
Em 1990, o termo Produção Mais Limpa foi definido pela *United Nations Environment Programme* (UNEP) como sendo: “A aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada aos processos, produtos e serviços para aumentar a eficiência e reduzir os riscos para os seres humanos e o meio ambiente”. (UNEP, 2012). Para Severo et al. (2014), o conceito da P+L permite às empresas usarem os recursos de forma mais eficiente, tornando-as mais produtivas, aumentando a competitividade.

Diferentemente dos programas com visão fim-de-tubo, a metodologia P+L consiste em identificar e tratar os resíduos durante o processo de fabricação, não somente com as tecnologias de tratamento, controle e gestão dos resíduos gerados. (CEBDS, 2005). Guimarães, Severo e Vieira (2017) afirmam que o conceito da Produção mais Limpa se diferencia da visão “fim de

tubo” por integrar os processos de fabricação com os objetivos ambientais, reduzindo os desperdícios e as emissões.

A P+L é dividida em três níveis, conforme Medeiros et al. (2007). O primeiro nível refere-se às medidas prioritárias, onde são realizadas as modificações nos produtos ou processos. Modificações nos produtos podem ser realizadas com a finalidade de alterar a qualidade e a durabilidade dos mesmos enquanto as modificações nos processos buscam reduzir os desperdícios através de simplificações nas etapas de fabricação, usando conceitos de boas práticas de fabricação, também conhecido como *housekeeping*, e análises de novas tecnologias, mais eficientes. Além das alterações em produtos e processos, o primeiro nível também visa a redução ou eliminação de resíduos realizando modificações em matérias primas. Os níveis dois e três referem-se à reciclagem de resíduos. As ações para reciclagem interna de resíduos pela empresa e reintegração de resíduos são abordadas pelo nível dois enquanto o nível três aborda as ações para as reciclagens externas. A Fig. (2.9) detalha os níveis da P+L.

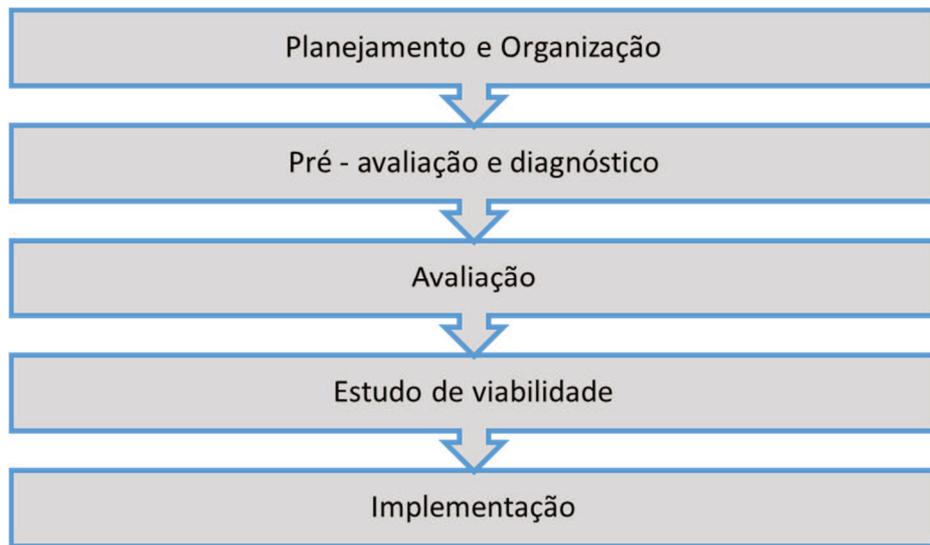
Figura 2.9 – Níveis de P+L



Fonte: CNTL (2003).

Apesar dos ótimos resultados obtidos em diversas companhias, a P+L não é garantia de progresso na gestão ambiental. É necessário aplicar sistemas de gestão para tornar as atividades seguras, promovendo a melhoria contínua. (BONILLA et al., 2010). Para a implementação da metodologia P+L, é necessário o cumprimento de algumas etapas, conforme mostra a Fig. (2.10).

Figura 2.10 – Etapas para a implementação da metodologia Produção Mais Limpa



Fonte: CEBDS (2005).

Etapa 1 – Planejamento e organização. Necessário o comprometimento da alta direção da empresa para disponibilizar um ambiente propício para o estudo. A formação de um grupo multidisciplinar com vistas a analisar os processos com pontos de vistas diferentes é de grande importância para disseminar os conceitos do programa e ajudar no entendimento da metodologia em toda a empresa. (HUANG; LUO; XIA, 2013).

Etapa 2 – Pré-avaliação e diagnóstico: Nesta etapa, os processos produtivos são detalhados, listando suas entradas e saídas afim de identificar as principais fontes de consumo de recursos e emissões. A elaboração de um fluxograma, mostrando as entradas e saídas de cada etapa do processo mostra claramente os recursos consumidos, resíduos gerados e as fontes de perdas. (RAHIM; RAMAN, 2015).

Etapa 3 – Avaliação: Visa o levantamento de dados concretos e atualizados para serem analisados com o intuito de se determinar as opções de P+L. (MEDEIROS et al., 2007).

Etapa 4 – Estudo de viabilidade: Nesta etapa, analisa-se a viabilidade da implementação das melhorias, comparando os valores de investimento com as economias esperadas com a implementação. (RAHIM; RAMAN, 2015). Os métodos mais utilizados para a análise de viabilidade são o *Payback* simples, Taxa interna de Retorno (TIR) e Valor Presente Líquido (VPL). Saidur, Rahim e Hasanuzzaman (2010) relatam que apesar de não considerar o fluxo de caixa e o valor do dinheiro no tempo, o método de *Payback* simples é o mais utilizado por ser de fácil entendimento. Wottrich (2010) define o método de *Payback* como sendo o tempo para

o lucro líquido se igualar ao valor de investimento. O método de *Payback* simples é demonstrado na Eq. (2.1).

$$\textit{Payback simples (meses)} = \frac{\textit{Valor do investimento}}{\textit{Economia mensal}} \quad (2.1)$$

Etapa 5 – Implementação: Na etapa de implementação, as melhorias sugeridas e avaliadas são colocadas em prática.

Após a implementação, é de extrema importância o monitoramento da efetividade das ações, através da criação e monitoramento dos indicadores de desempenho. (MEDEIROS et al., 2007). Alguns indicadores normalmente usados na produção de água mineral podem ser: consumo de energia com relação ao volume produzido, consumo de energia por garrafa produzida, consumo de energia por massa de resina PET (GLEICK; COOLEY, 2009), (LAGIOIA; CALABRÓ; AMICARELLI, 2012). Outros indicadores, com perspectivas econômicas e ambientais como, por exemplo, custo por volume produzido ou embalagem produzida e CO₂ equivalente com relação ao volume produzido. (GARFÍ et al., 2016).

Para Silva, Medeiros e Vieira (2017), os conceitos do P+L seguem o ciclo da ferramenta de qualidade PDCA, conforme ilustra a Tab. (2.3).

Tabela 2.3 – Etapas do P+L conforme PDCA

Etapa PDCA	Etapa P+L	Atividades
P	Planejamento e organização	Compromisso da alta direção; Envolvimento dos funcionários; Definição do ECOTIME; Apresentação da metodologia para o ECOTIME;
	Pré-avaliação	Coleta de dados iniciais; Definição dos indicadores de desempenho;
	Avaliação	Avaliação dos dados;
	Estudo de viabilidade	Sugestões e análise de viabilidade de melhorias;
D	Implementação	Implementação das melhorias;
C	Monitoramento	Avaliação dos impactos das melhorias através dos indicadores de desempenho;
A	Continuidade	Ações para manter resultados positivos ou melhorá-los.

Fonte: Silva (2017).

Das etapas listadas na Tab. (2.3), o planejamento e organização é realizado como preparação da organização para a implementação da P+L. Essa etapa normalmente não é utilizada em empresas que possuem metodologia enraizada e que irão realizar novos estudos de caso. As etapas desenvolvidas neste trabalho, seguiram o método PDCA dentro das etapas de implementação de um novo estudo de caso, mas não para a implementação do P+L. Sendo assim, o estudo iniciou com a etapa de pré-avaliação e diagnóstico e teve sua conclusão com a etapa de continuidade.

O estudo de caso realizado por Medeiros et al. (2007) atingiu objetivos interessantes com a metodologia P+L. Dos dois resíduos gerados durante o processo produtivo, um deles foi eliminado e o segundo foi reduzido em 95,2%. Além do indicador de desempenho ambiental, o programa colocou a empresa em concordância com os requisitos legais ambientais, gerou reduções em tempos de atividades, melhorando a ergonomia, aumentando a eficácia operacional. Todos estes resultados com pequenos investimentos realizados pela empresa. Na pesquisa de Rahim e Raman (2015), a P+L trouxe uma redução de 46 toneladas de CO₂ equivalente com um investimento com *Payback* de 6 meses.

Outra pesquisa realizada com o uso de conceitos da P+L avaliou o mesmo processo de fabricação, em três empresas diferentes. Foram identificadas oportunidades de melhorias consideráveis e com baixo valor de investimento. Além do retorno do investimento ocorrer em menos de 2 anos, a empresa identificou diversos impactos ambientais através do Levantamento dos Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA). Na pesquisa, pode se afirmar que “cada embalagem descartada carrega consigo uma carga de impactos ambientais e energéticos”. (STALTER; MORAES, 2017, p. 93)

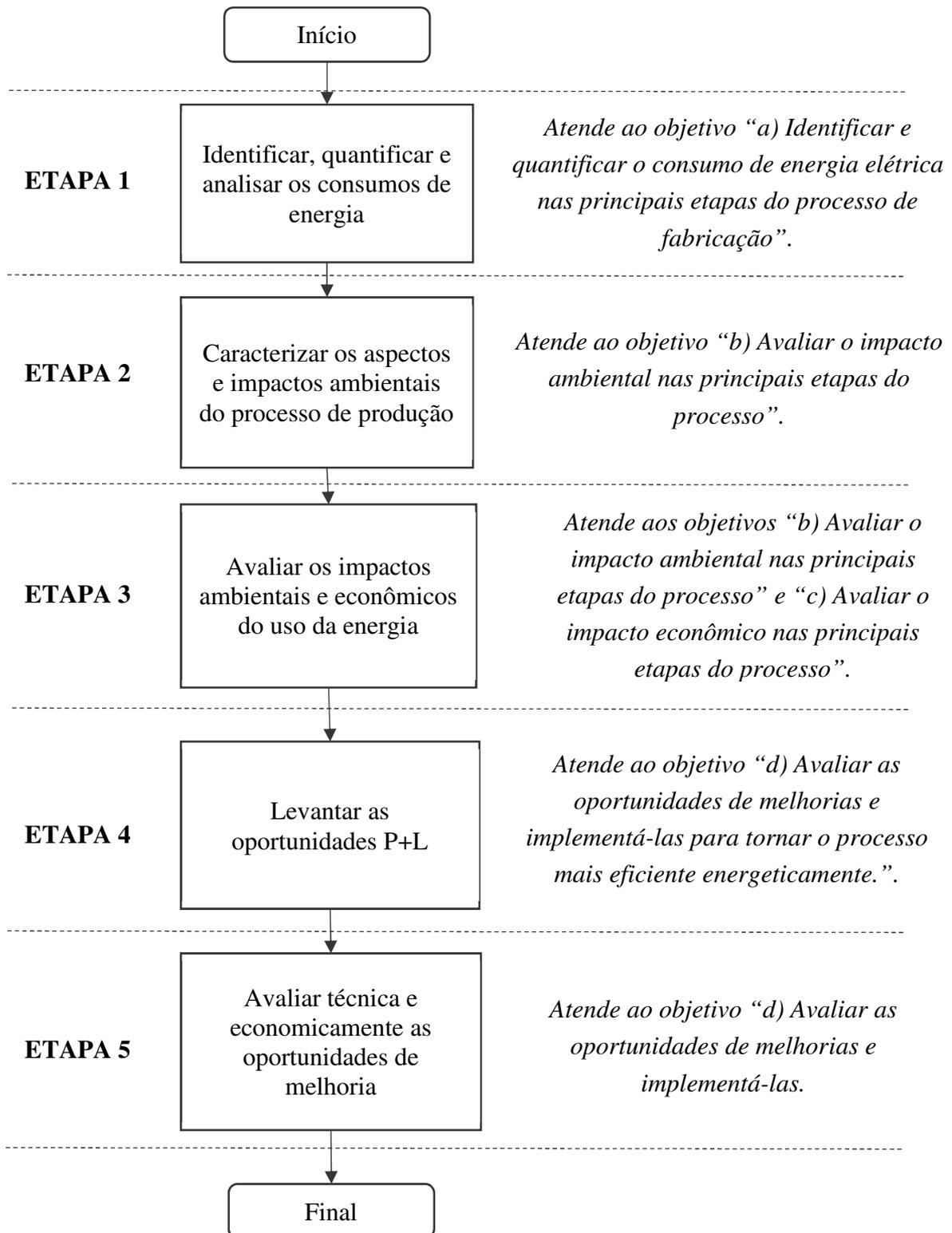
Além desses exemplos, existem muitos outros que, além dos resultados ambientais e financeiros, trouxeram resultados intangíveis, como melhora na imagem da empresa, satisfação dos funcionários.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada em uma das linhas de produção de água mineral em garrafas PET na empresa Bebidas Fruki S.A e teve como base a metodologia P+L. Esta ferramenta foi implementada em 2011 na empresa, onde inicialmente, foram eleitos 20 estudos de caso potenciais. Dentre os estudos listados, a análise de energia foi um dos itens que mostraram grande potencial para o desenvolvimento e implementação de oportunidades de melhoria. Porém, naquele momento, foram escolhidos outros itens a serem estudados na implementação do P+L, tendo como base um potencial de redução de custos e de impacto ambiental. Foram eles: Produto trocado por vencimento, troca de chapas separadoras e descarte de produto no processo produtivo. Estes três itens foram escolhidos em função da representatividade no negócio, o que traria ótimas oportunidades de melhoria, e pouca ou nenhuma necessidade de investimento para o início do estudo. A energia elétrica é o principal insumo da indústria, sendo o segundo maior gasto mensal, ficando somente atrás dos gastos com salários. Porém, na implementação da P+L, em 2011, este estudo de caso acabou sendo desconsiderado, em função da necessidade de investimento para a coleta e análise dos dados. Atualmente, com os medidores individuais de energia elétrica instalados, investimento realizado em 2016, permitiu que este estudo fosse escolhido, tendo em vista ótimas oportunidades de melhoria e melhor aplicação do recurso no processo.

Nesta dissertação, a pesquisa não foi focada na implementação do programa P+L, mas no uso do seu conceito e de suas ferramentas para a identificação, avaliação, e construção de soluções para as não conformidades do processo de produção de água mineral. Na pesquisa, a metodologia utilizada para a análise do uso da energia elétrica na produção de água mineral foi estruturada em cinco etapas, conforme mostra o fluxograma da Fig. (3.1).

Figura 3.1 – Estrutura da pesquisa



Fonte: Autor (2017).

3.1 Apresentação do Estudo de Caso

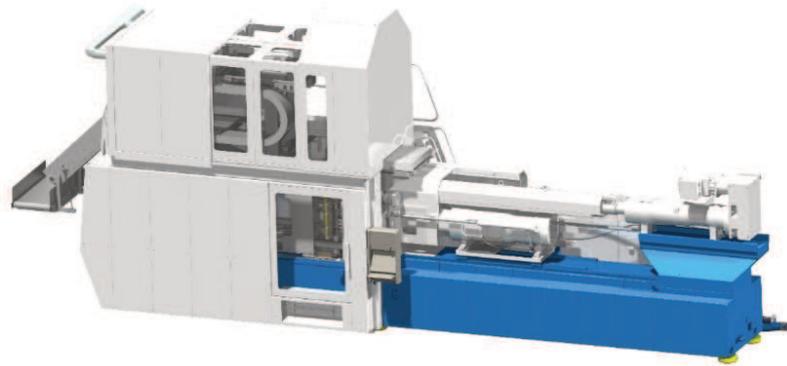
A Bebidas Fruki S.A. possui um grupo responsável pela gestão do programa P+L, o ECOTIME. Trata-se de um grupo multidisciplinar, formado por 13 pessoas de diversas áreas da empresa como meio ambiente, manutenção industrial, engenharia, produção, logística, comercial, recursos humanos e controle de qualidade. O grupo é responsável pela discussão e atualização dos planos de ação referente ao programa P+L e seus indicadores de desempenho.

No ramo de bebidas, a sazonalidade gera impactos nos processos, uma vez que as vendas são superiores nos meses quentes e caem de acordo com a redução da temperatura ambiente. Pode-se dividir o ano em período de alta, que vai do início de outubro até o final de março e de baixa, que se estende do início de abril até o final de setembro. Dessa forma, entendeu-se que, para se ter um parâmetro de comparação e um método de análise de eficácia das ações geradas com os conceitos de P+L, o ano foi dividido em dois períodos iguais de 6 meses, um do início de janeiro ao final de junho e outro do início de julho ao final de dezembro, dividindo assim o impacto da sazonalidade em duas partes.

O processo de produção da água mineral engarrafada inicia-se na captação da água na fonte. Esta etapa é de responsabilidade do setor de Estação de Tratamento de Águas (ETA). Composto por quatro fontes de água mineral, a captação de água ocorre através do uso de bombas submersas, acionadas via rádio, através do uso de um supervisor. Após a captação, a água mineral é armazenada em onze tanques de aço inoxidável, com capacidade de 80 m³ cada um.

O processo de produção da embalagem inicia-se com a produção da preforma. A empresa recebe a resina de PET em forma granulada, a qual é armazenada junto ao estoque de matérias primas, em embalagens de 1250 kg. O início do processo de injeção ocorre com a secagem da resina, processo necessário para retirar a umidade absorvida pelo material durante o armazenamento. Após a secagem da resina PET, o processamento da matéria prima é realizado em uma injetora da marca Netstal, fabricada em 1999. A injetora possui 48 cavidades e uma capacidade de produção de 15.300 preformas / hora. Produz praticamente somente a embalagem de 500 ml (preformas com massa de 16 g). Após o processo de injeção, as preformas são transportadas por meio de empilhadeiras até o almoxarifado de matérias prima, junto às linhas de produção. A Fig. (3.2) mostra a injetora de preformas da empresa Bebidas Fruki S.A.

Figura 3.2 – Injetora de preforma Netstal



Fonte: Bebidas Fruki S.A. (2017).

Para quantificar os gastos que a empresa tem com a compra de PET, considerou-se o valor da tonelada da resina no ano de 2017, pesquisado pela *Independent Chemical Information Service* (ICIS). Esta empresa fornece, de forma imparcial e independente, notícias e análises de mercado do setor de polímeros e plásticos. (ICIS, 2018). A Tab. (3.1) mostra o valor da média mundial da tonelada de resina PET, medido em dólar.

Tabela 3.1 – Preço da resina PET

Preço da tonelada de resina PET (US\$) - 2017											
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
961,00	961,00	1.050,13	1.050,13	1.050,13	955,25	965,00	987,63	1.020,88	1.056,00	1.073,00	1.074,38

Fonte: ICIS (2018).

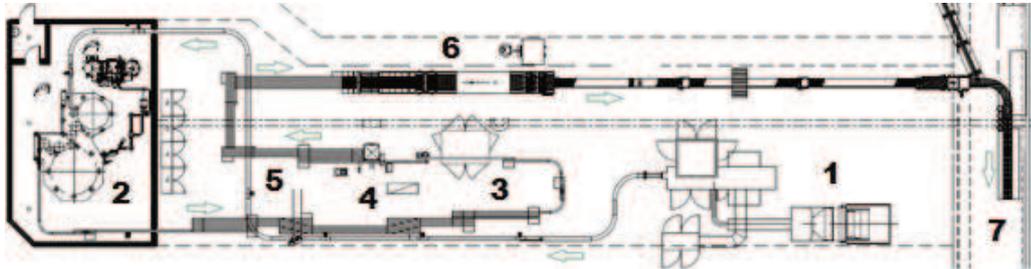
A água mineral envasada em garrafas PET descartáveis é produzida em apenas uma linha de produção com capacidade de 20.000 garrafas/hora na embalagem de 500 ml. A linha, chamada de Água PET, é um dos principais setores produtivos da indústria, responsável por envasar boa parte do volume de água mineral da empresa. Na linha Água PET, são produzidas as embalagens de 350, 500, 1500 e 2000 ml. A Fig. (3.3) mostra o layout da linha de produção de água mineral PET, onde:

- 1 – Sopradora
- 2 – Enchedora
- 3 – Rotuladora
- 4 – Inspetor eletrônico
- 5 – Impressora de data e lote

6 – Envolvedora

7 – Transporte para o setor de paletização

Figura 3.3 – Layout da linha de produção de Água Mineral.



Fonte: Autor (2017).

O início da produção da linha Água PET ocorre na sopragem das garrafas, processo realizado pela máquina sopradora de marca KHS, modelo Blomax IV (fabricada em 2013), com capacidade de 20.000 garrafas / hora na embalagem de 500 ml. Assim que são formadas, as garrafas são transportadas até a enchedora por meio do transporte aéreo, assim denominado devido à maneira do transporte das garrafas entre as duas máquinas. As garrafas são seguradas pelo pescoço e conduzidas através de uma corrente de ar formada por ventiladores.

No final do transporte aéreo, as garrafas entram no *rinser*, máquina que realiza uma limpeza no interior das embalagens através de um jato de água para eliminar quaisquer impurezas nas embalagens antes do envase. Na mesma máquina, as garrafas são envasadas e lacradas para que possam ser transportadas até o próximo equipamento. A etapa de aplicação de rótulos de papel é realizada pela máquina denominada rotuladora. Após a aplicação, as garrafas são conduzidas pelo transporte de esteiras até a inspeção de nível de produto na embalagem e de aplicação de tampa. Em seguida, as garrafas recebem a impressão de data de validade e lote de fabricação até chegarem na envolvedora, máquina que forma os pacotes com 12 garrafas. Por fim, os pacotes são transportados por esteiras até a paletizadora, deixando os pacotes organizados em paletes com 125 unidades.

Para tornar possível o funcionamento da linha de produção, é fundamental o setor de Central de Utilidades, setor este, responsável pelo fornecimento de insumos para toda a indústria. Deste setor, são fornecidos: vapor, ar comprimido de alta e de baixa pressão, água gelada, além do fornecimento de gases como nitrogênio (N_2) e gás carbônico (CO_2).

No processo de produção de água mineral, além da energia elétrica, outro insumo fundamental para o processo é o ar comprimido que, por sua vez, também demanda energia

elétrica para a geração. Existem duas linhas de ar comprimido na Central de Utilidades, uma de ar de alta pressão (35 bar) e uma de ar de baixa pressão (8 bar). Utiliza-se ar de alta pressão para a fabricação da embalagem e ar comprimido de baixa pressão para os atuadores pneumáticos dos equipamentos da linha de produção. A Tab. (3.2) apresenta os compressores de ar da central de utilidades e suas capacidades.

Tabela 3.2 – Compressores de ar da central de utilidades

Modelo	Fabricante	Potência do motor (kW)	Capacidade (m³/h)	Ano de Fabricação
Alta pressão				
VH15	B&M	155	875	2001
VH21	B&M	243	1260	2005
WH28	B&M	321	1600	2013
Baixa pressão				
ZT75-90	Atlas Copco	99,3	695	2012

Fonte: Autor (2017).

Os compressores de ar estão dispostos em duas redes de distribuição, uma para cada pressão de trabalho, como mostra a Fig. (3.4). Os compressores de alta pressão estão ligados em paralelo, onde são utilizados de acordo com o consumo das sopradoras de PET, nas linhas de produção. A linha de baixa pressão é abastecida por um único compressor, o qual fornece ar de processo para todo o maquinário da indústria.

Figura 3.4 – Rede de ar comprimido de alta pressão



Fonte: Autor (2017).

O vapor é utilizado somente para aquecer uma solução de soda cáustica com concentração de 1,3 a 1,8% que é utilizada antes do início de produção, no chamado processo de *Clean In Place* (CIP). O uso do vapor representa apenas 3,5 % do tempo de produção e o seu uso é compartilhado com outros processos industriais. Devido à impossibilidade de estratificação por ausência de instrumentação para essa medição na empresa e baixa representatividade no processo, o uso do vapor será desconsiderado na pesquisa.

3.2 Planejamento e Organização

Como primeira etapa da implementação da P+L, foram realizados o planejamento e a organização para a realização do estudo. São apresentados a seguir.

3.2.1 Medições de Consumo de Energia

Todo o processo de produção da água mineral foi analisado, desde a fabricação da preforma até o armazenamento da garrafa acabada no estoque. Também foi realizada uma análise quantitativa da energia necessária nas principais etapas do processo. Os consumos de energia elétrica foram listados em uma única unidade de medida, de forma a identificar a proporcionalidade nas diversas etapas de fabricação.

O consumo de energia elétrica da linha de produção foi medido através de transdutores de energia com memória de massa, modelo CCK4400M, cuja informação foi registrada no software de gerenciamento de energia CCK. Segundo o fabricante, o transdutor de energia é um equipamento que possui uma classe de exatidão de 0,5%. Os transdutores foram instalados nos barramentos de cada um dos quadros gerais de baixa tensão dos equipamentos envolvidos no processo de produção de água mineral em embalagens de 500 ml de PET. Cada equipamento foi calibrado antes da sua instalação.

As informações medidas pelos transdutores de energia foram processadas no software gerenciador de energia CCK, versão 7.0. Este software processou as informações do consumo de energia (em kWh), em forma de relatórios e gráficos. Além de fazer as medições, o software possibilita a realização de interações com o sistema produtivo, como por exemplo, desligar algum equipamento, caso identifique que o consumo de energia irá ultrapassar o valor contratado junto à concessionária.

3.2.2 Indicador de Desempenho Econômico

Foi desenvolvido um indicador de desempenho econômico do processo, o qual contabilizou os gastos com energia necessária no processo para a produção da água mineral. Para este indicador, foi utilizado o valor de tarifa média da região Sul do Brasil no ano de 2016, apresentado na Tab. (2.2). Este indicador serviu para identificar a representatividade do consumo de energia no processo de forma proporcional ao volume produzido. Além disso, serviu para identificar e quantificar as etapas do processo que merecem ser estudadas com maior detalhamento. O indicador, apresentado na Tab. (3.3), foi medido proporcionalmente ao volume de produção de água mineral para garrafas de 500 ml, ou seja, foi determinado dividindo os gastos decorrentes do consumo de energia elétrica pelo volume de água sem gás produzida na embalagem de 500 ml, em m³.

Tabela 3.3 – Indicador de desempenho econômico

Indicador	Unidade de medida
Gastos com energia elétrica por volume de água engarrafada	R\$/m ³

Fonte: Autor (2017).

3.2.3 Indicadores de Desempenho Ambiental

Da mesma forma que os indicadores econômicos, foram propostos indicadores de ecoeficiência para análise dos impactos ambientais do processo de produção de água mineral. Conforme estudo realizado por Gleick e Cooley (2009), sugere-se os indicadores de energia por litro de bebida engarrafada em cada etapa do processo produtivo. Para poder relacionar o indicador de energia para a produção de preformas com o indicador de consumo por litro de bebida produzida, foi considerado o consumo de energia necessária para a produção de duas preformas para as garrafas de 500 ml.

Como esperava-se um consumo maior para a fabricação da embalagem, também foi medido o indicador de desempenho referente ao consumo de energia por garrafa acabada. Da mesma forma, foram considerados os indicadores de emissão de CO₂ equivalente com relação ao volume produzido que, conforme Rahim e Raman (2015), podem ser utilizados para gerar ações com o intuito de redução de emissões, diminuindo os custos de produção. Para este indicador, será utilizada a metodologia indicada pelo Programa Brasileiro GHG Protocol. Lançado em 1998, o programa visa auxiliar e incentivar as empresas a contabilizar as emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE) de forma padronizada. Atualmente, o GHG Protocol é a ferramenta mais utilizada mundialmente, tanto pelas empresas como pelos governos, para entender e quantificar as suas emissões. (WRI, 2014). A equação para obter a emissão de CO₂equivalente foi montada com base no escopo número 2 do GHG Protocol, indicado para quantificar as emissões dos GEE em emissões diretas resultantes do consumo próprio de energia adquirida do Sistema Interligado Nacional (SIN). No cálculo, foram utilizados Fatores Médio de Emissões (FME) mensais, definidos pelo Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), os quais foram multiplicados pelo consumo mensal de energia elétrica. Os FME utilizados são apresentados pela Tab. (3.4).

Tabela 3.4 – Fatores Médios de Emissões de CO₂ (tCO₂eq/MWh) para o ano de 2017

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	2017
0,0566	0,0536	0,0696	0,0815	0,0847	0,0676	0,0965	0,1312	0,1264	0,1366	0,1193	0,0892	0,0927

Fonte: MCTIC (2018).

Os FME servem para estimar a quantidade de CO₂ sendo emitido em função da geração de energia elétrica em um determinado momento. Conforme MCTIC (2018), o FME “calcula a

média das emissões da geração, levando em consideração todas as usinas que estão gerando energia e não somente aquelas que estejam funcionando na margem”.

Os indicadores de desempenho ambiental utilizados na pesquisa são demonstrados na Tab. (3.5).

Tabela 3.5 – Indicadores de desempenho ambiental

Indicador	Unidade de medida
Energia por volume de água engarrafada	MJ/l
Energia por garrafa acabada	MJ/un
Emissão de CO ₂ equivalente por volume de água engarrafada	kgCO ₂ eq/l

Fonte: Autor (2017).

3.3 Pré Avaliação e Diagnóstico

Para que ocorra uma pré-avaliação dos processos atuais, foi necessário listar as diversas etapas de fabricação, separando-as e fazendo uma análise das entradas e saídas individualmente, tanto nos processos principais como nos processos auxiliares.

3.3.1 Etapas do Processo Produtivo de Água Mineral

O processo de produção de água mineral sem gás na embalagem de 500 ml foi organizado nas seguintes etapas principais:

- Captação de água;
- Tratamento da água;
- Injeção da preforma;
- Sopragem da garrafa;
- Envase e aplicação de tampa;
- Transporte de garrafas;
- Rotulagem;
- Inspeção;

- Impressão de data e lote;
- Envolvimento;
- Paletização;
- Armazenamento;
- Distribuição.

Como o objetivo da pesquisa foi analisar o processo de produção de água mineral, os processos de armazenamento e distribuição foram desconsiderados na análise de entradas e saídas. Devido à impossibilidade de estratificação da medição do consumo de energia por fonte de captação de água e pela similaridade no processo, a medição foi realizada em apenas uma fonte, responsável por cerca de 45 % de extração total de água.

No processo de tratamento de água também foi desconsiderada a etapa de ozonização em função de não possuir um medidor de energia apenas para essa etapa. Os demais processos de tratamento de água estão embutidos no consumo de energia da linha de produção, uma vez que as etapas de filtração ultravioleta e demais filtrações são realizadas na linha.

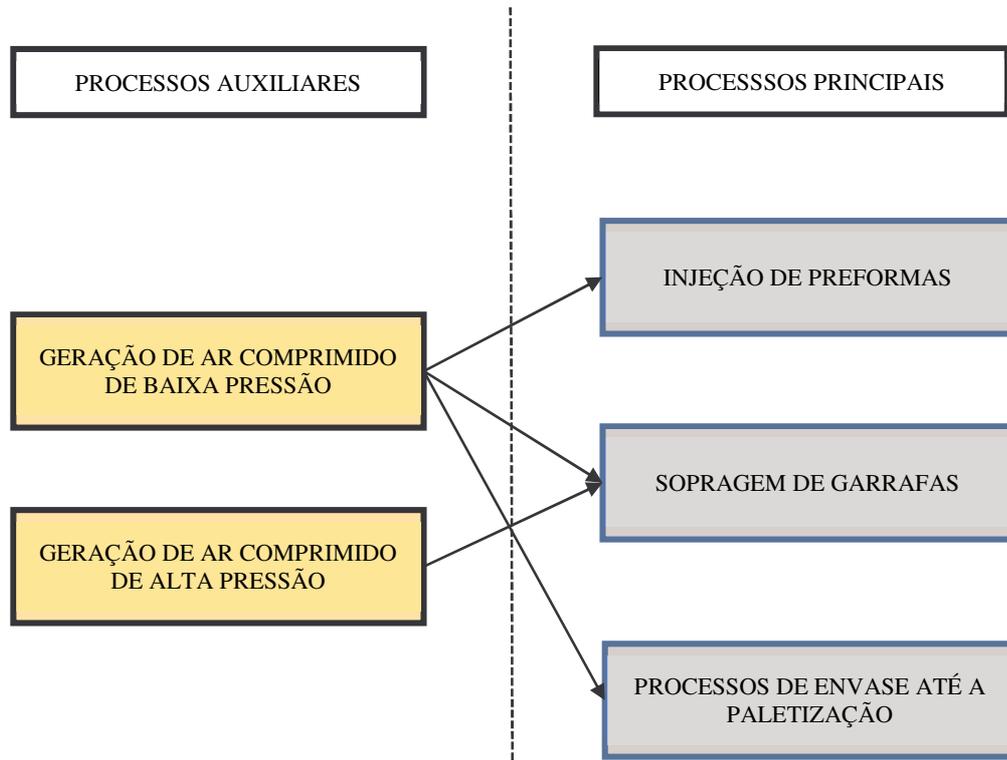
3.3.2 Análise de Entradas e Saídas dos Processos

Todas as entradas e saídas dos processos foram detalhadas através de dois fluxogramas. Um para os processos principais e outro para os processos auxiliares. Foi definido que os processos principais são as etapas de fabricação do produto enquanto os processos auxiliares referem-se às etapas necessárias para a produção dos insumos que são fundamentais para que cada etapa da produção ocorra.

No fluxograma de entradas e saídas dos processos principais, foram detalhadas todas as etapas do processo produtivo iniciando pelas etapas do processo de fabricação de preformas até as saídas do setor de paletização. Nas entradas, foram considerados todos os insumos e matérias primas necessárias para os processos. As saídas são os resíduos, efluentes ou o produto que será a matéria prima da próxima etapa do processo.

As entradas e saídas dos processos auxiliares foram detalhadas no segundo fluxograma, utilizando a mesma metodologia. Na empresa, os processos auxiliares acontecem no setor de Central de Utilidades. Foram considerados processos auxiliares a geração de ar comprimido de alta e de baixa pressão. A Fig. (3.5) mostra a relação dos processos principais e auxiliares.

Figura 3.5 – Processos principais e auxiliares



Fonte: Autor (2017).

3.3.3 Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA)

Para a elaboração da matriz de LAIA, foi utilizada como base, a matriz proposta por Leopold et al. (1971). Para cada aspecto, foram avaliadas a severidade, abrangência e probabilidade de ocorrência de cada impacto ambiental. Utilizando uma escala de pontuação predeterminada, foi possível identificar os principais impactos de cada aspecto.

Inicialmente, foram definidos todos os aspectos e os impactos que seriam detalhados no LAIA. Tanto os aspectos como os impactos listados no LAIA foram definidos pelo Ecotime da empresa, em um ambiente de *Brainstorming*. As áreas de abrangência foram separadas em dois setores, administrativo e produtivo. A Tab. (3.6) apresenta a lista de aspectos ambientais considerados no LAIA.

Tabela 3.6 – Lista de Aspectos Ambientais

ASPECTOS AMBIENTAIS	
SETORES ADMINISTRATIVOS DA INDÚSTRIA	Descumprimento de conduta profissional
	Não atendimento a legislações
	Geração de Resíduos Sólidos
	Consumo de Combustível
	Consumo de Energia
	Consumo de Água
	Falha de Processo
	Acidente de trabalho
	Falha Operacional
SETORES PRODUTIVOS	Geração de Efluentes
	Descumprimento de conduta profissional
	Não atendimento a legislações
	Geração de Resíduos Sólidos
	Consumo de Combustível
	Consumo de Energia
	Falha de Processo
	Consumo de Água
	Falha Operacional
Acidente de trabalho	

Fonte: Autor (2017).

Da mesma forma, foram definidos os impactos ambientais, os quais são apresentados na Tab. (3.7).

Tabela 3.7 – Lista de Impactos Ambientais

IMPACTOS AMBIENTAIS	CAUSADORES
Contaminação da água	Aspectos que sem medidas de controle possam alterar condições físicas e biológicas da água no seu lançamento.
Contaminação do solo	Aspectos que sem medidas de controle possam alterar condições físicas e biológicas do solo no seu lançamento.
Poluição sonora	Toda atividade que pode gerar poluição sonora.
Contaminação do ar	Atividades da empresa que emitem gases poluentes (NO _x , SO _x , MP; CO) e Gases de Efeito Estufa (CO ₂ , CH ₄).
Consumo de Recursos Não Renováveis (RNR)	Todo aspecto que de alguma forma irá consumir algum RNR ou algum recurso que se renove lentamente (renovação menor que o consumo).
Aumento de pragas	Todo aspecto que possa gerar atração de vetores ou pragas.
Consumo de Recursos Naturais (RN)	Consumo de recursos naturais diversos renováveis como água e lenha podendo ser de impacto direto ou indireto.

Fonte: Autor (2017).

A escala de pontuação da severidade de cada impacto se dividiu entre os valores de 0 a 10 e 20, de forma que:

- 0 pontos: usado quando o aspecto não possui relação com o impacto;
- 1 a 10 pontos: significou um impacto de pouca severidade e cada número subsequente significou um aumento gradativo do impacto, até o número 10, de alta severidade.
- 20 pontos: usado para avaliar os impactos de extrema relevância.

A Tab. (3.8) detalha a avaliação dos níveis de severidade dos impactos.

Tabela 3.8 – Avaliação da severidade dos impactos ambientais

PONTUAÇÃO	GRAU	SEVERIDADE
0 pontos	Nenhum	O aspecto não tem relação direta com o impacto.
1 ponto	Baixo	Impacto de baixa severidade. Quase não afeta meio ambiente ou a saúde dos profissionais. Fácil recuperação e/ou medidas de controle/prevenção na fonte.
2 a 9 pontos	Médio a alto	Impacto de média a alta severidade. Afeta de forma ampla o meio ambiente ou a saúde dos profissionais.
10 pontos	Muito alto	Impacto de alta severidade. Afeta de forma generalizada o meio ambiente.
20 pontos	Extremamente alto	Impacto extremo, se não houver cuidados, pode afetar as gerações futuras, merece atenção quando um aspecto é avaliado com este grau de severidade. Merece receber tratamento, como indicadores para seu gerenciamento e planos de ação de redução constantes.

Fonte: Autor (2017).

Também foram listadas as abrangências de cada impacto e a probabilidade de ocorrência dos mesmos, conforme detalhado pela Tab. (3.9). A abrangência de cada impacto foi determinada pela visibilidade do mesmo, caso ocorra. Para a avaliação da abrangência foram considerados 3 níveis possíveis. São eles:

- Pontual (1 ponto), quando afeta apenas a área aonde o impacto ocorre;
- Local (2 pontos), quando afeta mais setores da empresa;
- Sistêmico (3 pontos), quando afeta a empresa e a vizinhança

Tabela 3.9 – Avaliação da abrangência dos impactos ambientais

PONTUAÇÃO	GRAU	ABRANGÊNCIA
1 ponto	Pontual	Restrito à área.
2 pontos	Local	Abrange toda área e/ou setor ligado ao ponto onde foi gerado. Pode afetar a vizinhança.
3 pontos	Sistêmico	Abrange as áreas ligadas ao setor e irá impactar em mais pontos da empresa até a sociedade.

Fonte: Autor (2017).

A probabilidade de ocorrência foi classificada de acordo com a periodicidade dos acontecimentos de cada aspecto, conforme detalhado pela Tab. (3.10). Para tal avaliação, foram considerados 3 níveis de pontuação:

Tabela 3.10 – Avaliação da probabilidade dos impactos ambientais

PONTUAÇÃO	GRAU	PROBABILIDADE
1 ponto	Esporádico	Ocorrem dificilmente, sem frequência definida.
2 pontos	Cíclico	Ocorrem em ciclos semanais ou mensais.
3 pontos	Contínuo	Ocorrem com grande frequência. Diariamente por exemplo.

Fonte: Autor (2017).

O resultado da importância de cada aspecto ambiental se deu com a soma das severidades de cada impacto multiplicado pela probabilidade de ocorrência do mesmo, como mostra a Eq. (3.1).

$$IMPORTÂNCIA = \sum(SEVERIDADES) \cdot PROBABILIDADE \quad (3.1)$$

A consequência dos aspectos ambientais foi determinada com a soma das severidades multiplicada pela abrangência, conforme Eq. (3.2).

$$CONSEQUÊNCIA = \sum(SEVERIDADES) \cdot ABRANGÊNCIA \quad (3.2)$$

A priorização dos aspectos, chamado de significância, por sua vez, foi definida como sendo a soma das severidades dos impactos somados com a importância e a consequência, conforme mostra a Eq. (3.3).

$$SIGNIFICÂNCIA = \sum(SEVERIDADES) + IMPORTÂNCIA + CONSEQUÊNCIA \quad (3.3)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, são apresentados e discutidos os resultados da pesquisa obtidos através da metodologia proposta.

4.1 Avaliação

O processo produtivo foi analisado através do desenvolvimento do fluxograma de entradas e saídas. Também foi desenvolvida uma matriz de aspectos e impactos ambientais do processo de produção de água mineral para uma análise mais detalhada do processo. Após o detalhamento, foi realizada uma análise quantitativa de energia nas etapas de produção e a avaliação das causas, as quais serviram de *inputs* para as ações de melhoria. Os indicadores de desempenho ambiental e econômico dos processos foram monitorados durante todo o ano de 2017 para avaliar os impactos do uso da energia no processo de produção de água mineral.

4.1.1 Análise Qualitativa das Entradas e Saídas dos Processos Principais

Realizando a análise das entradas e saídas das etapas do processo produtivo, percebeu-se que a energia elétrica é o principal insumo. O estudo do uso da energia nos processos foi escolhido pela sua representatividade e oportunidades de melhoria, já que está presente em todas as etapas do processo.

Nas entradas, foram considerados os insumos ou matérias primas necessárias para a produção do produto de cada etapa do processo produtivo até o produto final, ou seja, o palete formado com pacotes de água mineral em embalagens PET de 500 ml. Nas saídas, além do produto, foram listadas as emissões e os resíduos gerados em cada processo. A análise de entradas e saídas dos processos é mostrada pela Fig. (4.1).

Figura 4.1 – Entradas e saídas dos processos principais de produção

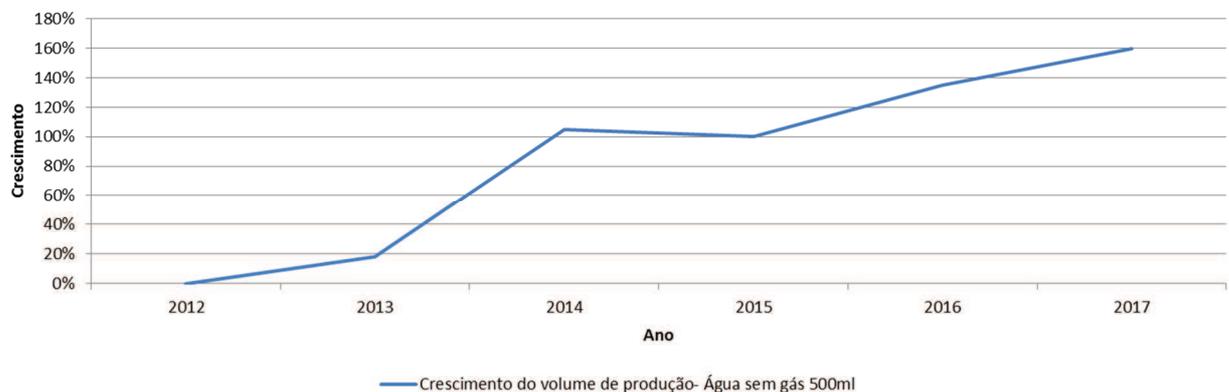
ENTRADAS	PROCESSO	SAÍDAS
Insumo: Energia elétrica	➔ Captação de água	➔ Efluente: Água Produto: Água mineral não tratada
Matéria prima: Água mineral não tratada. Insumo: Energia elétrica, Filtro consumível.	➔ Tratamento da água	➔ Resíduo sólido: Filtro consumível Produto: Água mineral tratada
Matéria prima: Resina PET Insumo: Energia elétrica, ar comprimido, água gelada.	➔ Injeção da preforma	➔ Resíduo sólido: Resíduo de PET Produto: Preforma.
Matéria prima: Preforma, embalagem de papelão. Insumo: Energia elétrica, ar comprimido, água gelada, embalagem plástica	➔ Sopragem da garrafa	➔ Resíduo sólido: Resíduo de PEBD, resíduo de papelão, resíduo de PET Produto: Garrafa PET
Matéria prima: Garrafa PET, água mineral, tampa plástica, garrafa envasada, embalagem de papelão. Insumo: Energia elétrica, ar comprimido.	➔ Envase e aplicação da tampa	➔ Resíduo Sólido: Resíduo de PET, resíduo de papelão, resíduo de PP, Produto: Garrafa envasada e lacrada.
Matéria prima: Garrafa lacrada Insumo: Energia elétrica, lubrificante de esteiras.	➔ Transporte de garrafas	➔ Efluente: Lubrificante de esteira Produto: Garrafa transportada.
Matéria Prima: Garrafa lacrada, rótulo de papel, cola, embalagem de papelão. Insumo: Energia elétrica, ar comprimido.	➔ Rotulagem	➔ Resíduo Sólido: Resíduo de papel, resíduo de cola, resíduo de papelão resíduo de PET. Produto: Garrafa rotulada.
Matéria Prima: Garrafa rotulada. Insumo: Energia elétrica, ar comprimido.	➔ Inspeção	➔ Resíduo Sólido: Papel, resíduo de PET, resíduo de PP. Produto: Garrafa inspecionada.
Matéria Prima: Garrafa inspecionada. Insumo: Tinta, solvente, ar comprimido, energia elétrica, solução de limpeza.	➔ Impressão de data e lote	➔ Resíduo Sólido: Solvente de limpeza, embalagens de tinta usadas. Produto: Garrafas com data e lote impressos.
Matéria Prima: Garrafa com data e lote impressos, plástico termoencolhível. Insumo: Ar comprimido, energia elétrica.	➔ Envolvimento	➔ Resíduo Sólido: Resíduo de PEBD, resíduo de papelão, palete de madeira. Produto: Garrafas empacotadas.
Matéria Prima: Garrafas empacotadas. Insumo: Energia elétrica, ar comprimido, palete de madeira, chapas separadoras, filme plástico.	➔ Paletização	➔ Resíduo Sólido: Resíduo de PEBD, resíduo de madeira, resíduo de papelão. Produto: Pacotes paletizados.

Fonte: Autor (2017).

Na implementação do programa, em 2011, foi elaborada a primeira versão do fluxograma de entradas e saídas do processo. Inicialmente, as entradas e saídas listadas foram muito similares à revisão realizada nessa pesquisa, porém a análise das entradas e saídas foi prejudicada, pois, no primeiro ano de implementação do programa, não existia uma forma de monitorar o consumo de um dos principais insumos, a energia elétrica. Sendo assim, mesmo sabendo que se tratava de um dos principais insumos, o estudo sobre o uso da energia não foi escolhido inicialmente. Com o fluxograma atualizado, confirmou-se a grande representatividade do uso da energia elétrica no processo, uma vez que está presente em todas as etapas de fabricação. Além disso, desde 2012 a linha Água Pet sofreu diversas alterações para aumentar o volume anual de produção, aumentando mais de 200% a capacidade de produção em 5 anos. Isso fez aumentar consideravelmente o uso dos insumos e matérias primas. Além disso, um dos principais insumos, a energia elétrica, sofreu diversas atualizações de preço, conforme mostra a Fig. (2.2). A soma de todos esses fatores fez com que aumentasse a importância da linha de produção para o negócio.

O gráfico da Fig. (4.2) mostra o crescimento produtivo da linha de envase Água PET desde 2012 no produto água mineral sem gás 500 ml.

Figura 4.2 – Crescimento de produção de água sem gás em garrafas de 500 ml

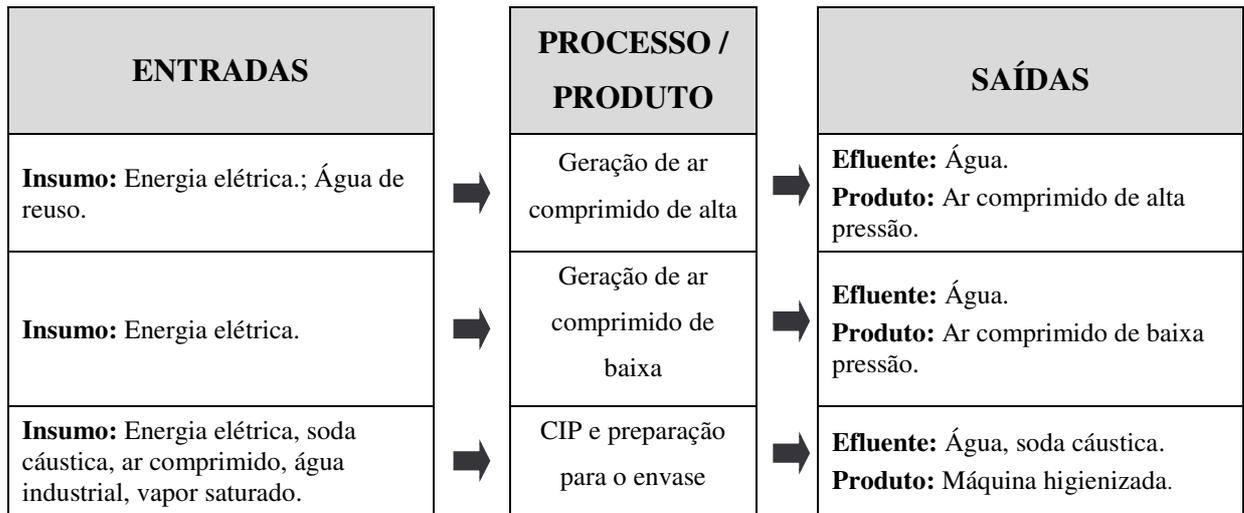


Fonte: Autor (2018).

4.1.2 Análise Qualitativa das Entradas e Saídas dos Processos Auxiliares

A análise de entradas e saídas dos processos auxiliares de produção de água mineral é apresentada na Fig. (4.3). Da mesma forma que os processos principais, a energia elétrica aparece em todos os processos auxiliares.

Figura 4.3 – Entradas e saídas dos processos auxiliares de produção



Fonte: Autor (2017).

Definidas as entradas e saídas dos processos auxiliares, ficou evidente a necessidade de se conhecer os impactos do uso dos principais insumos, desde a geração das utilidades até o final da etapa de envase na linha de produção, a paletização. O LAIA é uma das principais etapas do P+L, como dito anteriormente. Através deste levantamento, é possível conhecer não somente os consumos de materiais e energia, mas quais os impactos do uso de cada insumo e matéria prima. Na análise do LAIA, não foram avaliados os resíduos sólidos e consumíveis do processo, por não se tratar do objetivo desta pesquisa. O LAIA é apresentado a seguir.

4.1.3 Levantamento dos Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA)

O LAIA foi construído seguindo a matriz proposta por Leopold et al. (1971), onde foram listados os principais aspectos ambientais em cada uma das áreas responsáveis pelos processos de fabricação da água mineral. Os aspectos ambientais foram organizados em linhas enquanto os impactos foram organizados em colunas. Vale ressaltar que, apesar da elaboração do LAIA seguir uma metodologia, a avaliação é muito particular em cada empresa. Esta validação foi fundamental para que a empresa pudesse trabalhar cada impacto dos principais aspectos no grupo de P+L.

O LAIA também fez parte do início da implementação do P+L, por isso, uma primeira versão do levantamento já havia sido realizada inicialmente, em 2011. Porém, a primeira versão construída foi muito superficial. Na implementação da metodologia, o LAIA teve um enfoque muito operacional, ou seja, buscou-se analisar basicamente a geração dos resíduos sólidos gerados sem muita ênfase nos processos como um todo. Além disso, o uso da energia não pode

ser analisado em função da impossibilidade de medi-lo individualmente, o que impossibilitou também, estudar o comportamento dos indicadores de desempenho ao longo da análise.

A revisão do LAIA, realizado nesta pesquisa, teve uma ênfase mais estratégica e não tanto operacional, pois analisou cada aspecto de forma total, tendo uma visão dos impactos não somente dentro da empresa, mas antes e depois do uso de matérias primas e insumos no processo produtivo. Dessa forma as análises foram orientadas com maior ênfase nos processos e não somente na geração de resíduos.

A Tab. (4.1) apresenta o LAIA do processo de produção de água mineral, processo de fabricação de preforma e processos de geração de ar comprimido de alta e de baixa pressão.

Tabela 4.1 – Levantamento de Aspectos e Impactos Ambientais (LAIA)

ÁREA	N°	ASPECTOS	IMPACTOS							ABRANGÊNCIA	PROBABILIDADE	IMPORTÂNCIA DO ASPECTO	CONSEQUÊNCIA	SIGNIFICÂNCIA
			Contaminação da água	Contaminação do solo	Poluição sonora	Contaminação do ar	Consumo de RNR	Aumento de pragas	Consumo de RN					
			SEVERIDADE											
SETORES ADMINISTRATIVOS DA INDÚSTRIA	1	Descumprimento de conduta	2	2	2	2	2	2	2	1	1	14	14	42
	2	Não atendimento a legislações	2	2	2	2	2	2	2	1	1	14	14	42
	3	Geração de Resíduos Sólidos	1	1	1	0	1	5	3	1	1	12	12	36
	4	Consumo de Combustível	2	1	3	2	2	3	0	1	1	13	13	39
	5	Consumo de Energia Elétrica	0	0	0	1	3	3	3	1	3	30	10	50
	6	Consumo de Água	2	2	0	0	2	0	2	1	1	8	8	24
	7	Falha de Processo	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	7	Acidente de trabalho	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
	9	Falha Operacional	2	2	2	2	2	2	2	1	1	14	14	42
SETORES PRODUTIVOS	10	Geração de Efluentes	10	10	0	6	3	5	5	3	3	117	117	273
	11	Descumprimento de conduta	4	4	4	3	3	2	4	1	2	48	24	96
	12	Não atendimento a legislações	2	2	2	2	2	2	4	2	0	0	32	48
	13	Geração de Resíduos Sólidos	8	9	1	1	8	8	8	2	3	129	86	258
	14	Consumo de Combustível	3	4	9	4	4	0	6	2	3	90	60	180
	15	Consumo de Energia Elétrica	20	20	20	5	10	2	20	3	3	291	291	679
	16	Falha de Processo	5	5	3	2	4	6	5	1	1	30	30	90
	17	Consumo de Água	20	20	2	1	20	10	20	3	3	279	279	651
	18	Falha Operacional	6	6	1	2	2	3	5	2	2	50	50	125
	19	Acidente de trabalho	6	6	5	2	3	3	3	3	2	56	84	168

Fonte: Autor (2017).

Na revisão do LAIA, o resultado mostrou que os aspectos mais relevantes, ou seja, com o maior resultado de priorização, foram o consumo de energia (15) seguido pelo consumo de água (17). Portanto, o estudo do uso da energia no processo de produção de água mineral, seguindo as etapas da P+L foi assertivo, pois trabalhou os impactos dos dois aspectos mais relevantes. Como premissa para a elaboração do LAIA, foi considerado que os impactos não são fixos, ou seja, podem mudar ao longo do tempo. Por isso, existe a necessidade de revisão do trabalho periodicamente.

O uso da energia elétrica acabou sendo o aspecto mais relevante no LAIA em função dos impactos causados, direta e indiretamente. Fazendo uma análise dos impactos causados pelo aspecto consumo de energia e sua significância, nota-se que a severidade do impacto contaminação da água teve pontuação máxima, pois existe um impacto direto em função do uso da energia gerada através de fontes hídricas. O impacto contaminação do solo também apresentou alta severidade, pois foi considerado que, quanto maior for o consumo de energia, maior será o volume de efluentes gerados pela empresa.

A severidade do impacto poluição sonora levou em consideração um impacto indireto para a empresa, mas direto para a usina geradora de energia, em função do ruído gerado pelas turbinas. Já o impacto poluição do ar causado pelo aspecto geração da energia elétrica possuiu severidade baixa, se comparada a outras fontes de energia, resultando em um impacto menor. Por outro lado, é alta a severidade do impacto consumo de Recursos Não Renováveis (RNR), em função do uso de água na fonte geradora de energia pois, no Brasil, a geração hidrelétrica representou 65% do total gerado em 2016 (EPE, 2017). Da mesma forma, o impacto do consumo do mesmo Recurso Natural (RN) na fonte geradora apresentou severidade altíssima.

O LAIA também explicitou a necessidade de medição estratificada do consumo de energia, mostrando quais as etapas do processo de produção seriam mais representativas, norteando a geração das ações de P+L. Afinal, a relevância do uso da energia elétrica ficou evidente no momento da avaliação de acordo com os critérios do LAIA. Para possibilitar a geração e acompanhamento das ações nos indicadores de desempenho energético seria fundamental a medição de energia por processo.

4.1.4 Consumo de Energia nos Processos

O consumo de energia começou a ser medido no primeiro dia do ano de 2017 e passou a ser monitorado durante todo o ano. Cada transdutor de energia realizou mais de 30.000 medições ao longo de 2017 assegurando a confiabilidade dos resultados e impacto da influência

da sazonalidade nos indicadores. A Tab. (4.2) apresenta os dados medidos nas principais etapas do processo durante o primeiro semestre de 2017 e sua representatividade no consumo total de energia.

Tabela 4.2 – Consumo de energia por litro de água produzida.

PROCESSO	CONSUMO DE ENERGIA POR LITRO	Representatividade
Captação	$2,90 \times 10^{-3}$ MJ/l	1%
Injetora	$8,84 \times 10^{-2}$ MJ/l	42%
Linha de envase	$7,32 \times 10^{-2}$ MJ/l	35%
Ar de alta	$3,53 \times 10^{-2}$ MJ/l	17%
Ar de baixa	$8,50 \times 10^{-3}$ MJ/l	4%
TOTAL	0,2083 MJ/l	100 %

* Para a conversão de kWh para MJ, o valor foi multiplicado por um fator de conversão de 3,6.

Fonte: Autor (2017).

Durante o período de janeiro a junho de 2017, os dados coletados mostraram que a maior parcela do consumo de energia é durante a produção da embalagem.

O processo de captação de água representou 1% da energia necessária, uma média de 0,0029 MJ/l. Para a medição, considerou-se o volume total captado e o consumo total de energia no principal poço de captação da empresa. Nota-se que a representatividade é muito pequena, se comparada às demais etapas do processo.

A produção de preformas apresentou um grande consumo no processo, utilizando em média, 0,0884 MJ para cada unidade produzida, o que representou 42% do total de energia no processo. Considerando que para a produção de garrafas, é necessária a geração de ar comprimido de alta pressão e a transformação da resina PET em preformas, somente nessas duas etapas do processo, chega-se a 60% do total de energia necessária para a produção de água mineral. Levando em consideração que o processo de sopragem está incluído na medição que representa 35%, etapa cuja energia não pode ser estratificada do processo de envase, pode-se afirmar que a energia total para a fabricação da embalagem provavelmente fica próxima dos

70%, representando a maior parte do consumo de energia, conforme mostrou a revista Engarrafador Moderno (2016). A representatividade só não foi maior, por não ser considerada a fabricação da resina PET, uma vez que a empresa compra o material já processado.

A linha de envase, que inicia no processo de sopragem e termina na paletização, como dito anteriormente, consumiu 35% da energia total para a fabricação, o que representa uma média de 0,0732 MJ para cada litro produzido. Outro fator observado foi que os processos auxiliares de geração de ar comprimido representaram 21% do consumo total de energia, mostrando que merecem uma atenção na geração das ações de melhoria.

Somando todas as medições, verifica-se que o consumo total de energia para a produção de 1 litro de água mineral ficou em 0,2083 MJ/l. Este resultado confirma os dados apresentados por Lagioia, Calabro e Amicarelli (2012) e IBWA (2015), onde afirmam que são necessários, em média, 0,2 MJ de energia para cada litro de água mineral produzida.

4.2 Oportunidades de Melhoria

Na avaliação inicial, realizada no primeiro semestre de 2017, pode-se perceber que o maior consumo de energia está nas etapas cujo objetivo é a fabricação da embalagem, mostrando um direcionamento para as ações de melhoria. Os outros dois processos mais relevantes foram a fabricação na linha de produção, da sopragem à paletização, seguido pela geração de ar comprimido de alta pressão, necessário para a fabricação das garrafas. As principais ações realizadas serão demonstradas e discutidas a seguir.

4.2.1 Consumo de Energia na Fabricação da Preforma

Representando 42% no uso da energia, o processo de injeção de preformas também possui grande representatividade no uso de matéria prima, considerando que cada preforma de PET produzida possui 16 g de PET.

Para tornar o processo mais eficiente, tanto no uso da energia, como no uso de matéria prima, notou-se que a empresa está utilizando uma preforma com massa superior à média brasileira de 12 g (ABIPET, 2014), que por sua vez, é consideravelmente maior do que a média mundial de 9 g para 2014 (IBWA,2015). A partir da apresentação e discussão destes dados com o ECOTIME, ficou evidente a necessidade de se fazer testes com preformas de menor massa. Inclusive, essa tendência foi afirmada por Gleick e Cooley (2009) ao apresentar resultados obtidos em outras companhias do mesmo segmento em outros países, mostrando que a redução

do uso de PET poderia ser reduzida mundialmente em torno de 30% caso as empresas trabalhem com embalagens mais leves. Porém, trata-se de um processo muito delicado e demorado, uma vez que as embalagens são expostas a fatores externos à produção, como transporte e armazenamento. Diminuindo a massa da embalagem, conseqüentemente haverá redução da resistência mecânica da garrafa, o que pode acarretar em problemas perceptíveis pelo consumidor final. Além disso, para alterações no formato das preformas são necessárias adequações nos moldes de injeção, tornando necessário investir. Além do investimento, também é necessário o uso de recurso humano nos acompanhamentos constantes do processo, simulando inúmeras vezes, condições extremas as quais a embalagem poderá ser exposta posteriormente.

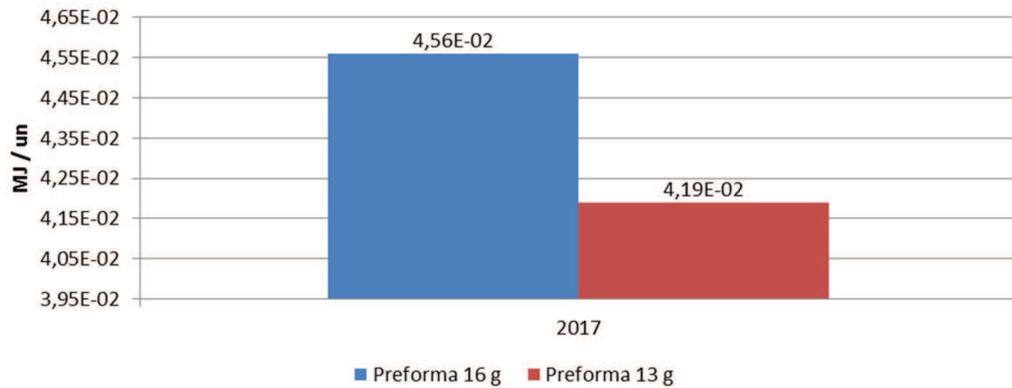
Inicialmente, foi sugerida uma redução de 15% na massa da preforma. A redução de apenas 2,5 g ainda deixaria a embalagem acima da média brasileira, mas com o intuito de que a mudança não deveria gerar percepção do consumidor final, uma vez que o formato da garrafa seria mantido. Considerando os pré-requisitos, a sugestão de melhoria foi aprovada pela direção da empresa após dois meses de estudo. Estas sugestões de modificações foram trabalhadas juntamente com o fabricante do molde, o qual já possuía alguns modelos de moldes de injeção para embalagens similares à da empresa, diminuindo os riscos de não conformidades nos ensaios.

Para as alterações nos moldes de injeção, foi necessário um investimento de R\$176.000,00 para aquisição das peças e um prazo de 2 meses para recebimento destas. O investimento foi para a compra de novos machos, peça que forma a parte interna da preforma no processo de injeção. Dessa forma, a redução da massa da embalagem ocorreria principalmente com a redução da espessura e comprimento da preforma. Com essas alterações, os testes somente poderiam ser conclusivos após a embalagem sofrer os processos de estiramento e sopragem e ser transportada até o cliente. Ficou acordado também que, a percepção do consumidor final também seria fundamental e não apenas a possibilidade de reduções de custos de produção.

Para a produção da nova preforma de 13,5 g, foram intercaladas as produções juntamente com a preforma de 16g, uma vez que a nova embalagem não estava homologada. As primeiras preformas produzidas foram utilizadas no processo de sopragem normalmente, sendo necessários apenas alguns ajustes no processo. Todos os ensaios de resistência, inerentes ao processo produtivo das embalagens, foram acompanhados pelo controle de qualidade da empresa durante os 4 meses de teste. Nesse período, foram injetadas cerca de 14 milhões de preformas gerando uma economia de 35.500 kg de resina.

O consumo de energia também foi monitorado durante todo o período de injeção da preforma de 13,5 g. O consumo de energia é apresentado pelo gráfico da Fig. (4.4).

Figura 4.4 – Consumo de energia da injetora nas preformas de 16 e 13,5 g



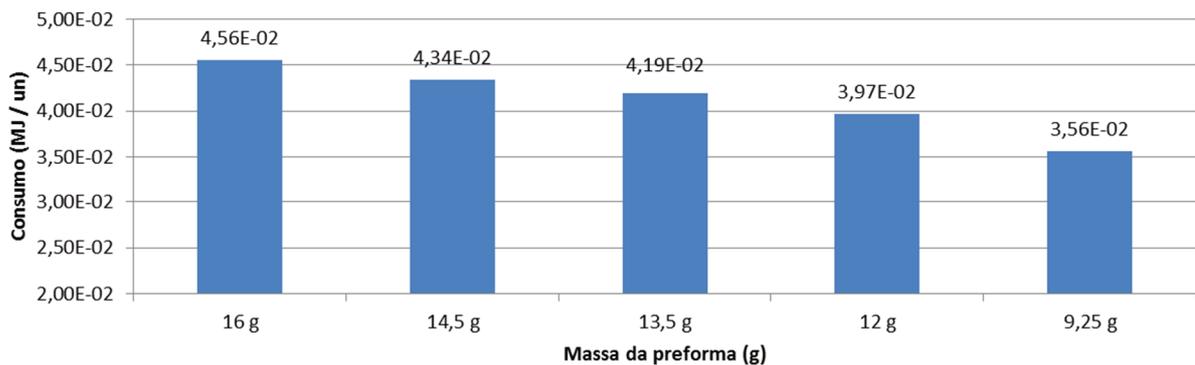
Fonte: Autor (2017).

Durante os 4 meses de ensaios de produção e medições, pode-se perceber que a produção de preformas mais leves na injetora trouxe uma economia de cerca de 8% no consumo de energia elétrica. Durante esse período, apesar dos testes terem sido homologados nas etapas dos processos produtivos, houve alguns casos de reclamação do consumidor final quanto à garrafa plástica mais leve. Insatisfações geradas a partir da percepção de que a embalagem amassava com muita facilidade após a sua abertura. Este resultado mostrou a necessidade de trabalhar a conscientização dos consumidores, através de campanhas, para que perceba a importância da redução do uso de recursos nos processos, principalmente associados à embalagem descartável. Importante ressaltar a prática comum do consumidor em reutilizar a embalagem para consumo posterior com água da torneira, sendo que a embalagem não foi concebida para esta finalidade. Os casos de reclamação não chegaram a ser relatados formalmente. Porém, mesmo não havendo nenhuma falha na qualidade da embalagem, a empresa decidiu voltar à produção de preformas de 16 g e realizar uma nova modificação para um segundo teste. Este com uma redução menor na massa da embalagem. O segundo teste será realizado no ano de 2018 e não será necessário o mesmo investimento, sendo necessário apenas um processo de usinagem para diminuir o diâmetro dos machos de injeção, o que deixará a preforma mais espessa e com uma massa intermediária entre 16 g e 13,5 g.

Como houve uma redução de $3,7 \times 10^{-3}$ MJ reduzindo em 2,5 g a massa da preforma, verificou-se uma redução de $1,5 \times 10^{-3}$ MJ para cada grama reduzida na embalagem. Mesmo não sabendo se existe linearidade entre a redução de consumo de energia elétrica e a redução

de massa, é possível fazer uma estimativa de redução para outras embalagens, de diferentes massas, considerando esta hipótese. Levando em consideração a redução de $1,5 \times 10^{-3}$ MJ/g, o gráfico da Fig. (4.5) apresenta uma estimativa de redução entre as preformas de 9,25 g (média mundial), 12 g (média brasileira) e 14,5 g, estimativa de massa da próxima embalagem a ser produzida para novos testes de homologação.

Figura 4.5 – Estimativa de consumo de energia para preformas de diferentes massas



Fonte: Autor (2018).

Durante o ano de 2017, a empresa produziu aproximadamente 78.000.000 preformas. Destas, aproximadamente 64.000.000 foram de 16 g. Para a produção de todo o ano, foram consumidos cerca de 3.500.000 MJ. Caso a empresa tivesse produzido a mesma quantidade de preformas, todas com massa de 13,5 g, no final do ano, seriam economizadas cerca de 195 toneladas de resina de PET. Com essa redução no consumo de resina, seria gasto cerca de US\$200.000,00 a menos, segundo cotação da ICIS apresentada na Tab. (3.1). Transformando o valor da economia para a moeda brasileira, a economia seria de R\$658.450,00. Para a conversão, foi utilizada a cotação do dólar comercial em 29/12/2017¹.

No consumo de energia, haveria uma redução de aproximadamente 290.000 MJ, o que representa cerca de R\$33.000,00 de economia anual com energia elétrica, considerando o valor médio pago pela região sul do Brasil em 2016, onde está localizada a empresa. Ainda assim, mesmo com uma boa economia anual nos gastos com energia elétrica, a economia seria muito

¹ BRASIL. Receita Federal. *Taxas de câmbio, incluindo valor do dólar, para fins fiscais. Anos anteriores.* Brasília, DF, 01 fev. 2018. Disponível em: <<http://idg.receita.fazenda.gov.br/orientacao/tributaria/declaracoes-e-demonstrativos/ecf-escrituracao-contabil-fiscal/taxas-de-cambio-incluindo-valor-do-dolar-para-fins-fiscais-irpj-AC-antecedentes>>. Acesso em: 25 maio 2018.

maior nos gastos com compra de resina PET. Esta economia seria suficiente para pagar o investimento no terceiro mês, conforme a análise de *Payback* simples, mostrada pela Eq. (4.1).

$$\text{Payback simples (meses)} = \frac{R\$176.000,00}{(R\$2.750,00 + R\$54.870,00)/\text{mês}} = 3,05 \text{ meses} \quad (4.1)$$

A Eq. (4.1) mostra que os ganhos mensais com a redução do consumo de energia, que foi de R\$2.750,00, somado com a redução mensal dos gastos associados à compra da resina PET, R\$54.870,00, ultrapassariam o valor do investimento logo após o terceiro mês de produção.

É válido ressaltar a importância da conscientização do consumidor quanto à necessidade da redução de massa de embalagens, não somente no ramo de bebidas, mas de um modo geral, pois este comportamento do mercado atinge outros ramos. Um *case* de sucesso que corrobora com o presente estudo foi o desenvolvimento de embalagens mais leves na empresa Natura. As embalagens da linha Natura SOU, produto lançado em 2015, trouxe um novo conceito de embalagens, com redução de 70% no uso de plástico gerando uma redução de 450 toneladas de matéria prima. A utilização de embalagens ecoeficientes, definida pela empresa como sendo embalagens que representam 50% ou mais de redução de massa em relação a embalagens similares, pode ser considerada um comportamento mais sustentável. Este comportamento é constantemente estimulado para mobilizar o consumidor e está definido como uma prioridade até o ano de 2020 no relatório visão de sustentabilidade 2050. (NATURA, 2014).

Outro caso que mostra o comportamento do mercado frente a necessidade de consumo consciente de recursos naturais, tanto do consumidor como das empresas, é a garrafa de água mineral lançada no Japão, em 2009 pela empresa Coca Cola. A embalagem oferece a possibilidade de torção após o uso, fazendo com que ocupe menos espaço nas lixeiras, estimulando a reciclagem por parte dos consumidores uma vez que o transporte do lixo reciclável até os pontos de coleta fica mais fácil. (ÉPOCA, 2011).

4.2.2 Consumo de Energia na Geração de Ar Comprimido de Alta Pressão

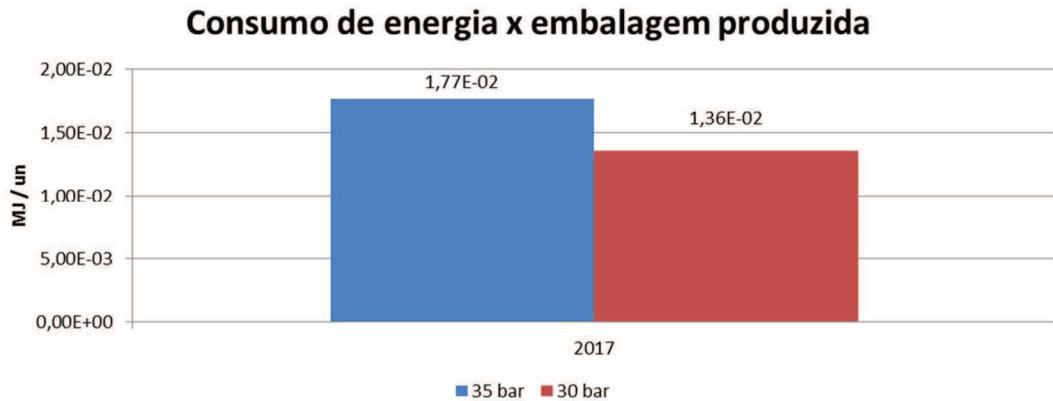
No final do levantamento inicial, pode-se perceber que os gastos com energia elétrica associados à geração do ar comprimido de alta pressão representaram 17 % do consumo total de energia, mesmo sendo um insumo utilizado apenas para a fabricação da garrafa. Com isso, a melhoria sugerida para baixar o consumo de energia elétrica nesse processo foi a redução na

pressão de sopragem na rede de ar comprimido de alta pressão. Para que isso fosse possível, seria necessária a visita de um técnico da empresa fabricante da máquina sopradora de garrafas da linha de refrigerantes, pois o equipamento não funcionava com pressão inferior a 35 bar. Como as sopradoras estão ligadas na mesma rede de ar comprimido, foi necessária essa alteração. Os gastos com mão de obra para alteração na programação do equipamento geraram uma despesa de R\$20.000,00, o que foi viabilizado através de análise de *Payback*, conforme Eq. (4.2). Além disso, tal investimento possibilitaria futuros trabalhos de redução de pressão.

Após ajuste da sopradora, a pressão da rede de ar foi reduzida de 35 bar para 30 bar. A mudança gerou necessidade de pequenas alterações nos processos de sopragem, mas não causou nenhum impacto na qualidade e resistência da embalagem produzida. Todos os testes de resistência das embalagens foram acompanhados pelo setor de controle de qualidade, que homologou a nova condição de trabalho.

A alteração de pressão na rede de ar de alta pressão foi realizada no dia 01 de agosto de 2017, possibilitando uma análise dos impactos de energia a partir do mesmo mês, até o final de dezembro do mesmo ano. Para que a quantidade produzida não influenciasse no resultado comparativo, foi utilizado o indicador de consumo de energia com relação ao número de garrafas produzidas. O gráfico da Fig. (4.6) mostra o impacto da redução da pressão de sopragem das embalagens.

Figura 4.6 – Consumos de energia com alteração na pressão da rede de ar de alta pressão

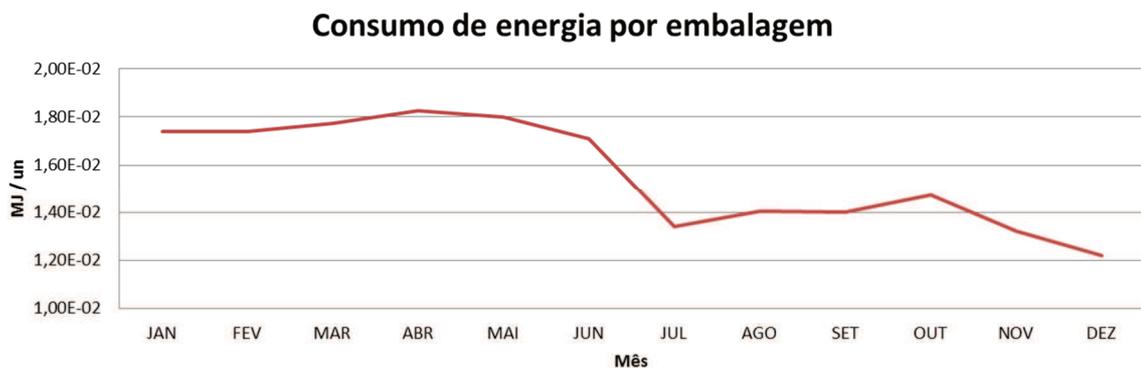


Fonte: Autor (2017).

A alteração na pressão de sopragem trouxe um impacto significativo no consumo de energia para a fabricação da embalagem, visto que a energia necessária para a geração de ar comprimido com relação à quantidade de garrafas produzidas caiu cerca de 23%. Foi o único trabalho de redução de pressão ocorrido no período, mostrando o impacto da ação no consumo para a geração de ar de alta pressão, relacionando-o com a quantidade de garrafas sopradas. Para tornar o indicador do consumo de energia, proporcional ao número de embalagens produzidas, considerou-se que, para cada garrafa soprada, foi necessária a geração de 500ml de ar comprimido de alta pressão.

Como a melhoria não trouxe impactos na resistência das garrafas produzidas, fator acompanhado desde os testes iniciais, realizados pelo controle de qualidade até o consumo do produto pelo consumidor final, a pressão da rede de ar de alta foi mantida. A Fig. (4.7) mostra o impacto da melhoria no consumo de energia com relação à quantidade de garrafas produzida.

Figura 4.7 – Consumo de energia para a geração de ar de alta pressão por embalagem



Fonte: Autor (2017).

Ao longo do ano de 2017, foram produzidas 80.772.468 garrafas de água mineral em embalagens de 500 ml. Utilizando o consumo médio de energia associada à geração de ar comprimido de alta pressão por unidade produzida, seriam economizados cerca de 330.000MJ de energia apenas com a redução na pressão de sopragem. Essa redução no consumo, traria uma economia anual de cerca de R\$37.000,00, levando em consideração o valor médio da tarifa de energia pago pela região Sul do Brasil no ano de 2016. Conforme Eq. (4.2), o investimento para a realização da melhoria foi de R\$20.000,00 e os ganhos mensais com redução no consumo de energia elétrica foram de R\$3.083,33. Com isso, o *Payback* se confirmou em 6,5 meses.

$$\textit{Payback simples (meses)} = \frac{\text{R\$20.000,00}}{\text{R\$3.083,33} / \text{mês}} = 6,48 \textit{ meses} \quad (4.2)$$

Os resultados de impactos ambientais e econômicos obtidos com essa ação, fez com que a empresa não somente mantivesse a pressão de sopragem, mas buscasse novas reduções, tanto na sopradora da linha água PET como nas demais sopradoras de garrafas PET. Devido a isso, foi realizado um investimento para a aquisição de novas válvulas proporcionais em 2018 para a redução de pressão nas demais máquinas sopradoras de garrafas PET da indústria. Isso trará ótimos benefícios após a ação ser replicada nas outras 3 sopradoras de garrafas PET. Vale ressaltar que o processo de geração de ar comprimido de alta pressão representou 16% do consumo total na produção de água mineral de 500 ml, mas está presente em mais 3 linhas de produção com sopragem de embalagens de maior volume. Considerando o volume de produção de 2017 em todas as linhas de garrafas PET, multiplicado pelos indicadores de desempenho, antes e depois da redução na pressão de sopro, é possível afirmar que a empresa teria uma redução de 685.100 MJ no ano de 2017, caso a rede de ar comprimido de alta pressão trabalhasse com 30 bar. Isso representa o consumo de energia necessária para gerar ar comprimido de alta pressão para aproximadamente dois meses de produção.

4.3 Indicadores de Desempenho Ambiental

A seguir, serão apresentados os resultados dos indicadores sugeridos no início da pesquisa e acompanhados durante todo o ano de 2017.

4.3.1 Energia por Volume de Água Engarrafada

O indicador de energia com relação ao volume de água mineral produzida foi calculado como sendo a divisão dos valores de consumo de energia em 2017 pelo volume, em litros, de água mineral produzida em embalagens de 500 ml. Fazendo um comparativo entre os consumos de energia de cada processo no primeiro semestre, com os consumos no segundo semestre, nota-se que todos os processos tiveram uma redução no consumo de energia para cada litro produzido, com exceção da injetora. O processo de injeção de preformas acabou sendo prejudicado em função dos testes de produção que ocorreram com a preforma de 13,5g. Foram produzidas pouco mais de 14 milhões de preformas mais leves e o processo foi constantemente interrompido para que a produção das preformas de 13,5g fosse intercalada entre produções de preformas de 16g, o que fez com que houvesse um aumento no consumo de energia por preforma produzida.

A Tab. (4.3) apresenta os consumos de energia elétrica durante o primeiro e o segundo semestre de 2017. Os resultados do primeiro semestre ilustram os dados coletados nas etapas 1, 2 e 3 da pesquisa, com a finalidade de estratificar os consumos de energia elétrica e entender os impactos do uso deste recurso nos processos. Os resultados do segundo semestre mostram o impacto da melhoria implementada na redução da pressão de sopragem, atendendo as etapas 4 e 5 da pesquisa, conforme ilustrado anteriormente pela Fig. (3.1). Como a produção de preformas mais leves não foi homologada pela empresa no ano de 2017, o consumo para esta embalagem, medida durante os testes de injeção, não foi considerado na análise do segundo semestre, apresentada pela Tab. (4.3), comparando os resultados com as medições do primeiro semestre.

Tabela 4.3 – Consumos de energia por litro produzido nos dois semestres de 2017

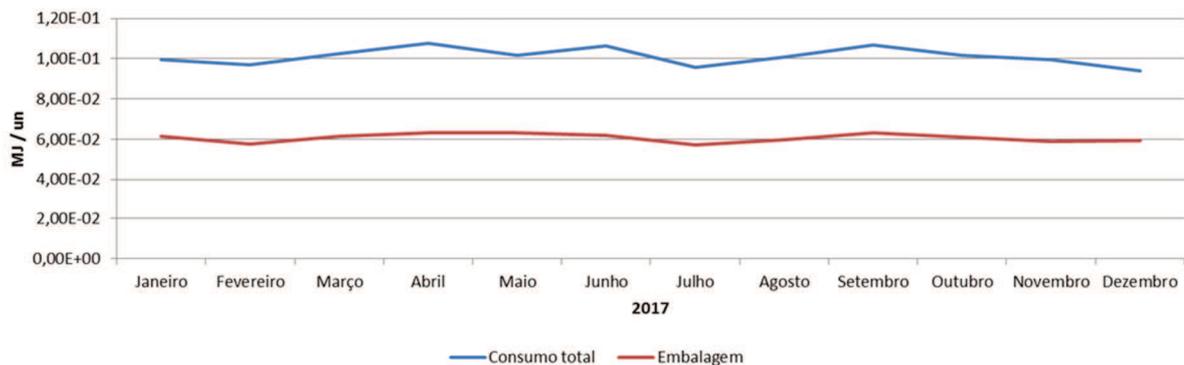
PROCESSO	CONSUMO DE ENERGIA POR LITRO PRODUZIDO (1º SEMESTRE)	CONSUMO DE ENERGIA POR LITRO PRODUZIDO (2º SEMESTRE)
Captação	$2,90 \times 10^{-3}$ MJ/l	$2,90 \times 10^{-3}$ MJ/l
Injetora	$8,84 \times 10^{-2}$ MJ/l	$9,24 \times 10^{-2}$ MJ/l
Sopragem até paletização	$7,32 \times 10^{-2}$ MJ/l	$7,23 \times 10^{-2}$ MJ/l
Ar de alta	$3,53 \times 10^{-2}$ MJ/l	$2,71 \times 10^{-2}$ MJ/l
Ar de baixa	$8,50 \times 10^{-3}$ MJ/l	$7,70 \times 10^{-3}$ MJ/l
TOTAL	0,2083 MJ/l	0,2024 MJ/l

Fonte: Autor (2017).

4.3.2 Energia por Garrafa Acabada

Da mesma forma que o indicador que mede o consumo de energia por litro de água, foi medido o consumo de energia para se produzir 500 ml de água mineral envasada comparando com a parcela do consumo de energia para se produzir apenas a embalagem, conforme mostra a Fig. (4.8).

Figura 4.8 – Consumo de energia por unidade produzida



Fonte: Autor (2018).

A linha vermelha mostra o consumo de energia para a produção de uma unidade de garrafa envasada com água mineral sem gás com o volume de 500 ml ao longo de todo o ano de 2017. Nota-se, observando o comportamento da linha azul que indica o consumo de energia para a produção apenas da embalagem para o mesmo produto, que esse consumo representa, aproximadamente, 60% do total consumido. O resultado se mantém praticamente constante ao longo do ano mostrando a importância da continuidade do estudo para buscar um aumento na eficiência energética principalmente na fabricação da embalagem. Conforme pesquisas realizadas por Jovanovic et al. (2014) e Gleick e Cooley (2009) o maior consumo de energia ocorre na fabricação da embalagem, confirmando os resultados obtidos neste estudo.

Produzindo embalagens mais leves, além de diminuir o impacto ambiental causado pelo descarte das mesmas, trará ótimos ganhos financeiros decorrentes da redução no consumo de energia elétrica. Com os resultados dos testes com a nova preforma foi possível afirmar que houve uma redução de 8% no processo que representa mais de 40% do consumo total de energia elétrica.

Mesmo havendo uma melhoria considerável na eficiência energética associada à geração de ar comprimido de alta pressão, o resultado ainda foi pequeno, considerando a representatividade do processo. Este resultado será mais expressivo a partir do momento em que se tomar a mesma ação nas outras três máquinas sopradoras de garrafas PET, porém, ações realizadas em 2017, continuam em 2018 e estão apresentando resultados positivos, mesmo antes da realização das ações nos outros equipamentos.

4.3.3 Emissão de CO₂ Equivalente

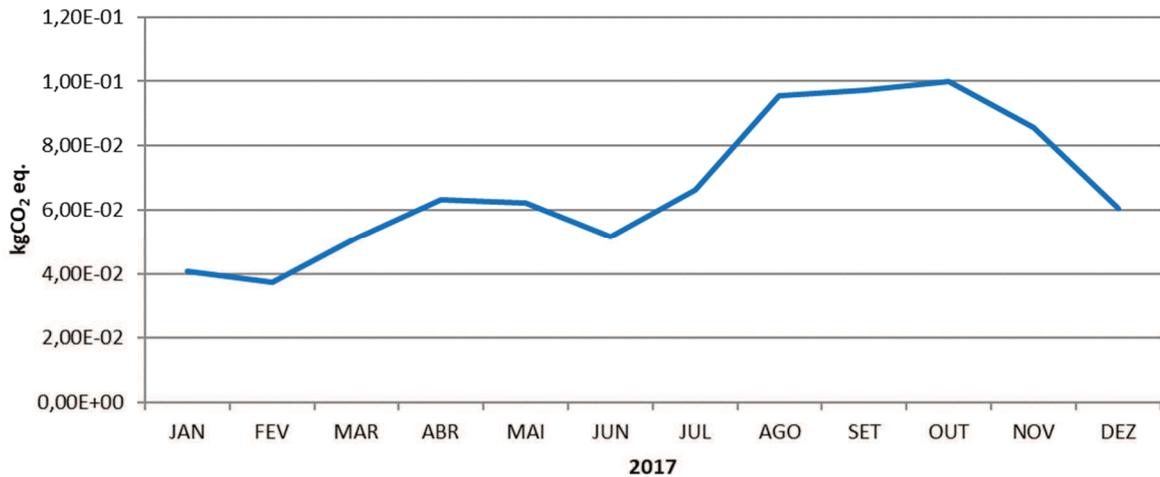
O indicador de emissão de CO₂ equivalente mede a quantidade de gás carbônico emitido para a atmosfera em função do uso da energia para a produção de água mineral 500 ml. Para o cálculo do indicador, foi utilizado o método indicado pelo Programa Brasileiro GHG *Protocol*, onde as emissões de CO₂ são calculadas através do consumo de energia do SIN. Conforme o programa brasileiro, apenas 1,7% da energia gerada no país é de fora do SIN. No ramo de bebidas não carbonatadas, pode-se afirmar que 88% da geração de CO₂ equivalente são decorrentes do uso da energia elétrica. (RAHIM, RAMAN, 2015).

No Brasil, as emissões de CO₂equivalente associadas ao uso da energia elétrica, no período em que o indicador foi medido (de 2008 a 2016), tiveram um crescimento gradativo até o ano de 2014, onde foram geradas 9,6 toneladas de CO₂ equivalente. De 2014 a 2016, as emissões

reduziram, chegando a 6,3 toneladas de CO₂equivalente. (PROGRAMA BRASILEIRO GHG PROTOCOL, 2018).

O indicador de geração de CO₂equivalente associado à utilização da energia elétrica é ilustrado pela Fig. (4.9).

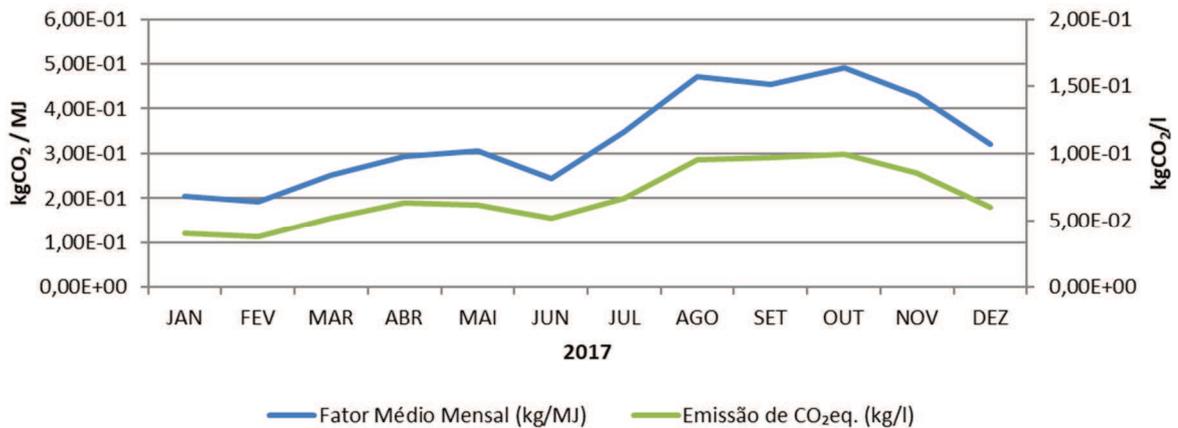
Figura 4.9 – Emissão de CO₂ equivalente



Fonte: Autor (2018).

Nota-se que os resultados de emissões de kg de CO₂equivalente a partir do mês de julho aumentaram gradativamente nos meses seguintes. Esse indicador de desempenho se comportou ao inverso do que era esperado. Porém, como as emissões são calculadas multiplicando o consumo de energia de cada mês pelo FME mensal nota-se que o aumento das emissões de CO₂equivalente não ocorreram em função de queda de desempenho ambiental, mas sim, em função do aumento considerável do FME, que ocorreu durante o segundo semestre de 2017. O impacto fica visível, comparando o comportamento dos indicadores, FME e emissão de CO₂equivalente por litro produzido. O gráfico da Fig. (4.10) apresenta o comparativo entre os dois indicadores, justificando assim, o aumento na geração de emissões de CO₂equivalente.

Figura 4.10 - Comparativo entre o Fator Médio de Emissões e Emissão de CO₂equivalente



Fonte: Autor (2018).

Mesmo havendo um comportamento inverso em função do FME, houve uma redução nas emissões de CO₂equivalente se forem comparados os desempenhos do primeiro com o segundo semestre do ano. Levando em consideração que, no primeiro semestre, o indicador de energia consumida por embalagem reduziu cerca de 3%, conforme apresentado na Tab. (4.3), o que representou uma economia de 226.300 MJ de energia elétrica comprados. Esta redução gerou uma economia de 5,8 toneladas de CO₂ equivalente, considerando o Fator Médio Anual de Emissões do ano de 2017 que foi 0,0927 tCO₂eq/MWh.

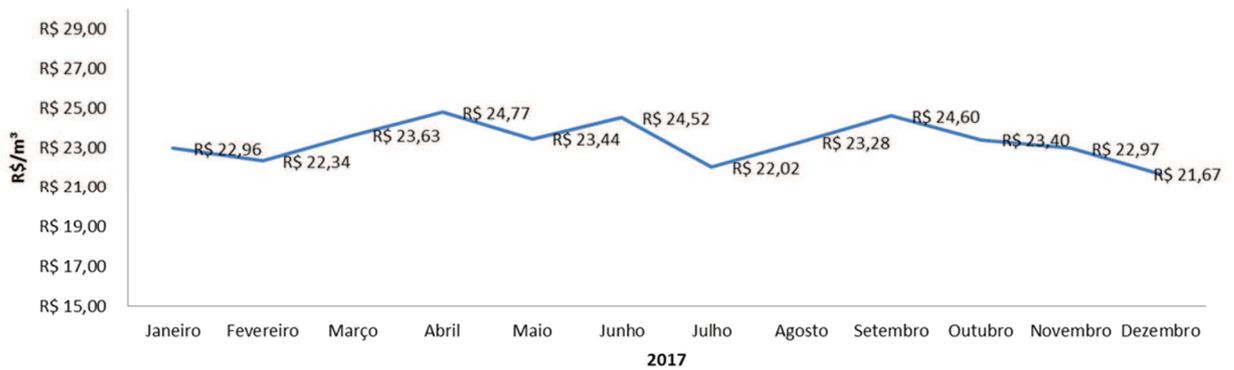
4.4 Indicador de Desempenho Econômico

O indicador de desempenho econômico é apresentado a seguir.

4.4.1 Gastos com Energia por Volume de Água Engarrafada

O indicador definido como sendo a forma de medição de desempenho do processo produtivo foi o gasto mensal com energia elétrica com relação ao volume produzido no período. Portanto, este indicador de desempenho está diretamente ligado ao desempenho energético dos processos. A Fig. (4.11) mostra os gastos com energia ao longo do ano de 2017 nos processos que compõem a produção de água mineral PET.

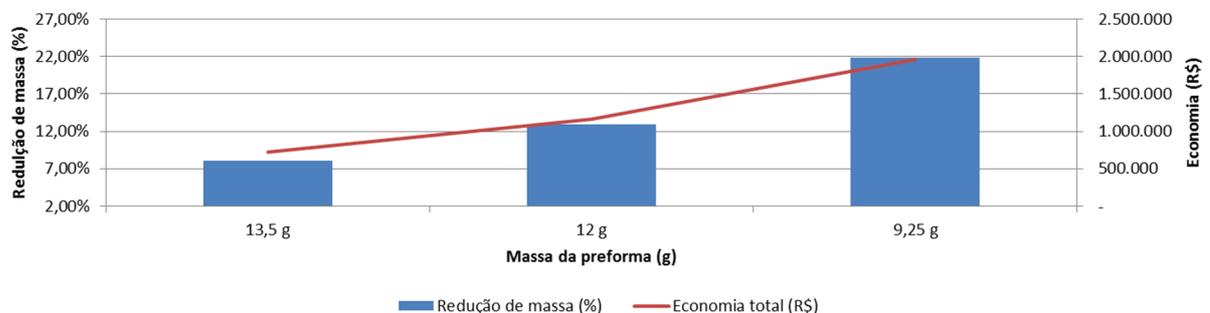
Figura 4.11 – Gastos com energia por volume de água engarrafada



Fonte: Autor (2018).

Nota-se que os resultados mensais do indicador ficaram flutuando em torno de R\$21,00 e R\$24,00 ao longo do ano. No mês de dezembro, o indicador atingiu o seu melhor resultado, R\$21,67. No mesmo mês, além da ação gerada para a redução na pressão de sopro, pode-se afirmar que o resultado seria melhor, caso a empresa já estivesse trabalhando com a preforma de 13,5g. Mesmo não tendo a embalagem homologada no ano de 2017, é perceptível que houve uma melhora na eficiência energética. O gráfico da Fig. (4.12) mostra uma estimativa de economia anual associada à redução de massa de preformas, comparando a preforma atual, de 16 g, com a preforma testada em 2017 (13,5 g), uma sugestão para próximos testes de homologação (14,5 g), média mundial em 2014 (9,25 g) e média brasileira no mesmo ano (12 g).

Figura 4.12 – Estimativa de economia com reduções de massa na embalagem



Fonte: Autor (2018).

Analisando o gráfico, é possível identificar boas possibilidades de economia associadas à redução de massa da embalagem de 500 ml para água mineral sem gás. Utilizando os valores de tarifas de energia média pagas pela região sul do Brasil em 2016 e o indicador ICIS para o

preço de compra de resina em 2017, caso a empresa homologue uma preforma com massa entre 16 g (atual) e 13,5 g (não homologada em 2017), sugerida como sendo de 14,5 g, é possível estimar uma economia de aproximadamente R\$500.000,00 anuais. Atingindo a média brasileira de 2014, 12 g, a economia pode chegar próxima a R\$1.000.000,00. Considerando a média mundial do mesmo ano, a economia seria de aproximadamente de R\$2.000.000,00 anuais, muito superior à economia relacionada ao uso da energia para o processo de injeção.

É válido ressaltar que este estudo considerou uma linha de produção de água mineral em embalagens de 500 ml. Estes resultados podem ser reproduzidos em outras linhas de produção de bebidas, de diferentes embalagens PET, o que fará com que a empresa obtenha um aumento no desempenho produtivo e redução no seu consumo de energia.

O uso de ferramentas como a P+L para atingir esse e outros objetivos ambientais, trouxe segurança e robustez para as ações, pois além de atuar forte na geração de resíduos, conscientizou todos os níveis da empresa e deve ser externado, através de campanhas de marketing para conscientizar também a sociedade.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de conceitos da P+L na linha de produção Água PET teve como objetivos, identificar e quantificar o consumo de energia nas etapas dos processos de produção de água em embalagens de 500ml, avaliando os impactos ambientais e econômicos, sugerindo melhorias para tornar o processo mais eficiente.

Utilizando o diagrama de entradas e saídas, pode-se identificar os principais insumos e materiais utilizados, assim como os resíduos gerados em cada etapa produtiva. Ficou evidente que a energia elétrica é um dos principais insumos do processo, sendo também um dos principais custos industriais. O aumento na tarifa de energia nos últimos anos, confirmou a sua importância econômica. Também foi confirmado no LAIA que o uso da energia foi o aspecto ambiental mais significativo da indústria, com uma pontuação de 679. Essa pontuação se deu após a avaliação de cada impacto do aspecto uso da energia, avaliando também sua abrangência, probabilidade, importância e consequência.

Com a atualização do diagrama de entradas e saídas dos processos principais e auxiliares, foi possível observar que a redução do consumo de energia não traria somente impacto direto nos indicadores energéticos, mas também reduções no uso de matéria prima, e, por consequência, na geração de resíduos sólidos. Após seis meses de medições de consumo energético, foram priorizados dois processos onde deveriam concentrar as ações de melhoria: injeção de preformas e geração de ar comprimido de alta pressão, pois cerca de 70% do consumo estava, de fato, na produção da embalagem.

Juntando a representatividade dos processos no consumo de energia com o fato de que a empresa estava produzindo garrafas com massa muito acima da média mundial, e acima também da média brasileira, a primeira ação tomada buscou reduzir a quantidade de resina PET presente nas embalagens. Apesar da necessidade de investimento, os testes atingiram resultados satisfatórios, demonstrados através da redução 15% de uso de materiais e de 8% no consumo de energia na injeção das preformas mais leves. A economia no consumo de resina PET, com 14 milhões de preformas produzidas, foi de 35,5 toneladas. Porém, mesmo não havendo problemas de resistência da nova embalagem no processo produtivo e de transporte, devido à pequenas reclamações do consumidor final, a empresa decidiu interromper a produção da nova embalagem e restabelecer o processo antigo.

A segunda ação de melhoria sugerida na pesquisa buscou reduzir a pressão de sopragem das garrafas PET de 35 para 30 bar, o que trouxe uma economia de 23% no consumo de energia dos compressores de ar de alta pressão. Para essa opção de P+L, o investimento inicial de

R\$20.000,00 foi, portanto, menor do que a alteração do molde de injeção de preformas, mas foi necessário rever e aperfeiçoar o processo de sopragem para a nova condição, uma vez que o processo ficaria com menor margem para erro. Logo nos primeiros testes, ficou evidente que os resultados seriam perceptíveis pois a redução na pressão chegou aos 15% sem impactar na resistência das embalagens.

Os indicadores de desempenho ambiental mostraram que as melhorias realizadas no processo, geraram um aumento de eficiência energética pois o consumo total de energia com relação ao volume produzido caiu 3%. Este resultado só não foi maior pois, em função da não homologação da nova preforma, os testes da injetora com as embalagens mais leves não foram considerados.

Da mesma forma, os indicadores de desempenho econômico também demonstraram que, além da redução do uso de energia para a produção de água mineral, houve uma queda nas emissões de CO₂ equivalente que, só não foi maior, em função do FME que sofreu grande variação a longo do ano, influenciando no resultado final. Mesmo assim, houve uma redução de 5,8 toneladas de CO₂ equivalente comparando o segundo semestre de 2017 com o primeiro.

Ao final da pesquisa, pôde-se afirmar que processo de produção de água mineral em garrafas PET é um processo com grandes possibilidades de melhoria de desempenho energético, principalmente associado à produção da embalagem. Conforme identificado na pesquisa, ficou evidente que a maior parcela da energia consumida é para a fabricação da embalagem, que se torna um resíduo sólido com alto tempo de decomposição. Por isso, é de extrema importância buscar alternativas para se reduzir cada vez mais a massa das garrafas PET aumentando o desempenho ambiental e diminuindo os custos de fabricação.

5.1 Sugestões para Trabalhos Futuros

Para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação dos conceitos da P+L nos processos similares de produção de outras bebidas em garrafas PET, onde são empregados praticamente os mesmos recursos e matérias primas. Com esta pesquisa será possível ganhos interessantes, principalmente na central de utilidades, onde os recursos gerados são produzidos de acordo com a necessidade dos processos que exigem maior consumo. A continuação da mesma pesquisa no processo de produção de água mineral também é sugerida, uma vez que foram identificadas boas oportunidades de redução no uso de energia elétrica com a redução na pressão de ar de alta pressão e com a redução de massa da embalagem. Para isso, sugere-se a concepção de um novo formato de embalagem, permitindo a redução de massa sem afetar a resistência mecânica

da embalagem. Campanhas de marketing também são sugeridas de modo que o consumidor entenda a importância das embalagens mais leves e da redução do uso de recursos.

Outra sugestão é pesquisar a exposição das embalagens desde a expedição até a entrega para o cliente, entendendo a necessidade de resistência mecânica das embalagens no transporte, pesquisando oportunidades de melhorias que convirjam para novas reduções de massa de embalagens PET.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET (ABIPET). A fabricação das preformas de PET. São Paulo [2012?]. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=66>>. Acesso em 25 ago. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET (ABIPET). Indústria do PET no Brasil. São Paulo [2014?]. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarInstitucional&id=36>>. Acesso em: 01 maio 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM (ABRE). Simbologia técnica brasileira de identificação de materiais. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://www.abre.org.br/comitesdetrabalho/meio-ambiente-e-sustentabilidade/reciclagem/simbologia-de-identificacao/>>. Acesso em: 09 jun. 2018.
- BANCO NACIONAL DO DESENVOLVIMENTO (BNDES). O setor de bebidas no Brasil. Brasília, DF, 2014. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/680/simple-search?query=bebidas>. Acesso em: 12 ago. 2017.
- BONILLA, Silvia; ALMEIDA, Cecília; GIANNETTI, Biagio; HUISINGH, Donald. The roles of cleaner production in the sustainable development of modern societies: an introduction to this special issue. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, n. 1, p. 1–5, 2010.
- CCK. **Transdutor de Energia com Memória de Massa e Ethernet**. São Paulo, 2017. Disponível em: <http://www.cck.com.br/produtos/produto.php?nmprod=CCK%204400ME>>. Acesso em 2 maio 2017.
- CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Guia da Produção Mais Limpa: Faça Você Mesmo**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: <<http://cebds.org/publicacoes/guia-para-producao-mais-limpa-faca-voce-mesmo/#.WRJYEOXyvIU>>. Acesso em: 09 maio 2017.
- CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS (CNTL). **Implementação de programas de Produção mais Limpa**. Porto Alegre: CNTL/SENAI-RS/UNIDO/UNEP, 2003.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (DNPM). **Água Mineral – Sumário Mineral 2015**. Brasília, DF, Mar 2015. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/sumarios/sumario-mineral-2015/view>>. Acesso em: 14 abr. 2017.
- DUDIĆ, Slobodan; IGNJATOVIC´, Ivana; ŠEŠLIJA, Dragan; BLAGOJEVIC´, Vladislav; STOJILJKOVIC´, Miodrag. Leakage quantification of compressed air using ultrasound and infrared thermography. **Measurement**, v. 45, n. 7, p. 1689–1694, 2012.

EERHART, AJJE; FAAIJ, APC; PATEL, MK. Replacing fossil based PET with biobased PEF; process analysis, energy and GHG balance. **Energy & Environmental Science**, Holanda, n. 5, p. 6407-6422, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017**. Brasília, DF. Set 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em: 10 mar 2018.

ENGARRAFADOR MODERNO. **Garrafas PET Lightweight estreiam na América do Sul**. São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://engarrafadormoderno.com.br/embalagens/garrafas-pet-lightweight-estreiam-na-america-do-sul>>. Acesso em 01 maio 2017.

REVISTA ÉPOCA NEGÓCIOS. **Nova embalagem de água confirma a pregação dos gurus de sustentabilidade**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://colunas.revistaepocanegocios.globo.com/empresaverde/2011/11/08/nova-embalagem-de-agua-da-coca-cola-confirma-a-pregacao-dos-gurus/>>. Acesso em 02 jun. 2018.

GARFÍ, Marianna; CADENA, Erasmo; SANCHEZ-RAMOS, David; FERRER, Ivet. Life cycle assessment of drinking water: comparing conventional water treatment, reverse osmosis and mineral water in glass and plastic bottles. **Journal of Cleaner Production**, Estados Unidos, n. 137, p. 997-1003, 2016.

GLEICK, Peter H.; COOLEY, Heather S. Energy implications of bottled water. **Environmental Research Letters**, Oakley, v. 4, n. 1, p. 1-6, 2009.

GUIMARÃES, Julio Cesar Ferro; SEVERO, Eliane Andrea; VIEIRA, Pedri Senna. Cleaner production, project management and Strategic Drivers: An empirical study. **Journal of Cleaner Production**, v. 141, p. 881–890, 2017.

HADDAD, Header; MASOOD, Syed; ERBULUT, Deniz. A study of blow moulding simulation and structural analysis for PET bottles. **Australian Journal of Mechanical Engineering**, Australia, v. 7, n. 1, p. 69-75, 2009.

HUANG, Yi; LUO, Jiwen; XIA, Bin. Application of cleaner production as an important sustainable strategy in the ceramic tile plant-a case study in Guangzhou, China. **Journal of Cleaner Production**, v. 43, p. 113–121, 2013.

INDEPENDENT CHEMICAL INFORMATION SERVICE (ICIS). **Plásticos: preços, mercados e análises**. Estados Unidos, 2018. Disponível em: <<https://www.icis.com/pt/plastics/>>. Acesso em 5 mar. 2018.

INTERNATIONAL BOTTLED WATER ASSOCIATION (IBWA). **IBWA 2015 - Progress Report**. Estados Unidos, 2015. Disponível em: <http://www.bottledwater.org/public/IBWA_2015_ProgressReport_final_lowres_0.pdf>. Acesso em: 14 abr. 2017.

JABBOUR, Charbel Jose Chiappetta. Non-linear pathways of corporate environmental management: a survey of ISO 14001-certified companies in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 18, p. 1222-1225, 2010.

- JANLUX. **Sobre a fabricação de garrafas PET**. Tijuca, 2016. Disponível em: <<http://www.janlux.com.br/2016/01/27/sobre-a-fabricacao-de-garrafas-pet/>>. Acesso em 5 ago. 2017.
- JOVANOVIĆ, Vukica; STEVANOVIĆ, Branislav; ŠEŠLIJA, Dragan; DUDIĆ, Slobodan; TEŠIĆ, Zdravko. Energy efficiency optimization of air supply system in a water bottle manufacturing system. **Journal of Cleaner Production**, v. 85, p. 306–317, 2014.
- KAERCHER, Jonas Alvaro; SCHNEIDER, Rosana de Cassia de Souza; KLAMT, Rodrigo Augusto; SILVA, William Leonardo Teixeira; SCHMATZ, William Luiz; SZARBLEWSKI, Matheus da Silva; MACHADO, Enio Leandro. Optimization of biodiesel production for self-consumption: Considering its environmental impacts. **Journal of Cleaner Production**, v. 46, p. 74–82, 2013.
- LAGIOIA, Giovanni; CALABRÓ, Grazia; AMICARELLI, Vera. Empirical study of the environmental management of Italy's drinking water supply. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 60, p. 119–130, 2012.
- LEOPOLD, Luna B.; CLARKE, Franck E.; HANSHAW, Bruce B.; BALSLEY, James R.. A procedure for evaluating environmental impact. **Geological Survey Circular**, v. 645, p. 1–13, 1971.
- M&G Chemicals S.A.. **Resinas PET para embalagens**. São Paulo, [2017?]. Disponível em: <<http://www.mg-chemicals.com.br/pt/produtos/resinas-pet-para-embalagens>>. Acesso em: 25 ago. 2017.
- M&G Chemicals S.A.. [Treinamento de injeção de PET]. São Paulo, 2012. Material em Power Point de uso interno da instituição.
- MEDEIROS, Denise Dumke; CALÁBRIA, Felipe Alves; SILVA, Gisele Cristina Sena; FILHO, Julio Cesar Gomes. Aplicação da Produção mais Limpa em uma empresa como ferramenta de melhoria contínua. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 109–128, 2007.
- MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES (MCTIC). **Fator Médio – Inventários Corporativos**. Disponível em: <http://www.mctic.gov.br/mctic/opencms/ciencia/SEPED/clima/textogeral/emissao_corporati_cor.html>. Brasília, DF. Abr. 2018. Acesso em 24 maio 2018.
- MIRANDA, Joseane Borges; VAZ, Caroline Rodrigues; JAPPUR, Rafael Feuh; VASCONCELOS, Alexandre Meira; SELIG, Paulo Maurício. Gerenciamento de resíduos em uma empresa fabricante e distribuidora de refrigerantes do sul do Brasil: método GAIA. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 3, n. 2, p. 2, 2011.
- NATURA. **Visão de sustentabilidade 2050**. Disponível em: <http://www.natura.com.br/sites/default/files/static/sustentabilidade/natura_visao_sustentabilidade_2050.pdf?utm_so>. São Paulo, SP. Nov. 2014. Acesso em 25 maio 2018.
- NOGUEIRA, Cláudia de Oliveira Gonçalves; LAUDARES, Sarita Soraia de Alcântara; BORGES, Luís Antônio Coimbra. Gestão ambiental no Brasil: o caminho para a sustentabilidade. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 5, p. 135-144, 2013.

ORSET, Caroline; BARRET, Nicolas; LEMAIRE, Aurélien. How consumers of plastic water bottles are responding to environmental? **Waste Management**, França, n. 61, p. 13-27, 2017.

PERUGINI, Floriana; MASTELLONE, Maria Laura; ARENA, Umberto. A Life Cycle Assessment of Mechanical and Feedstock Recycling Options for Management of Plastic Packaging Wastes. **Department of Environmental Sciences**, Itália, v. 24, n. 2, p. 137 – 154, 2005.

RAHIM, Razuana; RAMAN, Abdul Aziz Abdul. Cleaner production implementation in a fruit juice production plant. **Journal of Cleaner Production**, Malásia, v. 101, p. 215–221, 2015.

ROMÃO, Wanderson; SPINACÉ, Márcia A. S.; PAOLI, Marco-A. **Poli(Tereftalato de Etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem**. *Polímeros*, v. 19, n. 2, p. 121–132, 2009.

SAIDUR, R.; RAHIM, N. A.; HASANUZZAMAN, M. A review on compressed-air energy use and energy savings. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 4, p. 1135–1153, 2010.

SEVERO, Eliane Andréa; GUIMARÃES, Julio Cesar Ferro; DORION, Eric Charles Henri, NODARI, Cristine Hermann. Cleaner production, environmental sustainability and organizational performance: An empirical study in the Brazilian metal-mechanic industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 1–8, 2014.

SILVA, A. S.; MEDEIROS, C. F.; VIEIRA, R. K. Cleaner Production and PDCA cycle: Practical application for reducing the Cans Loss Index in a beverage company. **Journal of Cleaner Production**, v. 150, p. 324–338, 2017.

SILVA, A. L. E.; MORAES, J. A. R.; MACHADO, Ê. L. Proposta de produção mais limpa voltada às práticas de ecodesign e logística reversa. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 29–37, 2015.

SOARES, Nani. Vale quanto pesa? **Engarrafador Moderno**, São Paulo, 3 dez 2014. Disponível em: < <http://engarrafadormoderno.com.br/embalagens/vale-quanto-pesa>>. Acesso em: 02 maio 2017.

SOUSA, R. N. et al. A simplified matrix of environmental impacts to support an intervention program in a small-scale mining site. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 6–7, p. 580–587, 2011.

STALTER, C. F.; MORAES, C. A. M. **Avaliação das Oportunidades de Produção mais Limpa para o Processo de Embalagem Horizontal**. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 6., 2017, São Paulo. Anais eletrônicos... São Paulo: Ed. UNIP, 2017. Disponível em: <http://www.advancesincleanerproduction.net/sixth/files/sessoes/5B/4/stalter_and_moraes_academic.pdf> Acesso em: 09 jun 2018.

TENCATI, Antonio; POGUTZ, Stefano; MODA, Beatrice; CACIA, Claudia. Prevention policies addressing packaging and packaging waste: Some emerging trends. **Waste Management**. [S.l.] v. 56, p. 35–45. 2016.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Resource Efficient and Cleaner Production**. Nairobi, 2012. Disponível em: <<http://www.unep.fr/scp/cp>>. Acesso em: 23 abr. 2017.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Environmental Management Systems (EMS)**. Dallas, 2017. Disponível em: <<https://www.epa.gov/ems>>. Acesso em 13 jun. 2017.

VÁSQUEZ, William F.; MOZUMDER, Pallab; ARCE, Jesus Hernández; BERRENS, Robert P. Willingness to pay for safe drinking water: Evidence from Parral, Mexico. **Journal of Environmental Management**, Estados Unidos, n. 90, p. 3391 – 3400, 2009.

WORLD RESOURCES INSTITUTE (WRI). **Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol**. São Paulo, [2014?]. Disponível em: <<http://www.ghgprotocolbrasil.com.br/especificacoes-do-programa-brasileiro-ghg-protocol?locale=pt-br>>. Acesso em 23 maio 2018.

WOTTRICH, Breno. **Modelo para a análise econômica e financeira em projetos de geração distribuída de energia com fontes alternativas**. 2010. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria (UFMSM), Santa Maria, 2010.