



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

ESCOLA DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA



ENG07053 - TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

Análise da cadeia de valor da reciclagem de PET com ênfase no PET-PCR grau alimentício

Autor: Miguel Ângelo Hentoux

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Ligia Damasceno Ferreira Marczak

Co-orientador: Eng. Maurício Jaroski Gomes

Porto Alegre, julho de 2018

Agradecimentos

Primeiramente, agradeço aos meus pais, Roberto e Ilce, por sempre me apoiarem em minhas escolhas e me darem suporte, tanto emocional como financeiro, em todos os momentos de minha vida. Também, pela minha criação regada de amor e carinho e por me ensinarem todos os valores que carrego comigo até hoje.

Agradeço à minha irmã, Anna, por ser meu porto seguro em Porto Alegre e sempre me estender à mão nos momentos que precisei de ajuda.

Agradeço à minha vó, Terezinha, por ser a melhor pessoa que eu conheço, também por fazer comidas tão deliciosas.

Agradeço à minha namorada, Aline, por todo apoio, amor, carinho e por acreditar em mim mesmo nos momentos em que eu não acreditei. Também, por me aturar e corrigir meus erros neste trabalho.

Agradeço a todos meus amigos, aqueles que me acompanham desde Santo Ângelo e a todos que fiz na minha jornada acadêmica. Vocês foram essenciais nas minhas conquistas e agradeço pelos momentos de risadas e por mostrarem o significado de uma verdadeira amizade.

Agradeço à Professora Lígia Damasceno pela sua orientação nesse trabalho. Também, pela sua preocupação com todos os alunos do curso, apoiando e escutando todas as nossas ideias.

Agradeço à MaxiQuim pelo estágio e pelos dados concedidos a esse trabalho, principalmente ao Eng Maurício Jaroski pelo suporte e aconselhamento durante esse período de minha vida.

Resumo

Com o crescimento do consumo de produtos industrializados houve o aumento na geração de resíduo plástico nos centros urbanos, ocasionando sérios problemas ambientais devido ao descarte incorreto desses materiais. Assim, embalagens plásticas acabam em mares, oceanos ou são destinadas a aterros, que acumulam milhares de toneladas de resíduo plástico por ano e que levará mais de 100 anos para se decompor. Para minimizar os impactos causados pelos plásticos, empresas e governos investem na reciclagem para aumentar o ciclo de vida desses materiais. No Brasil, a cadeia de reciclagem carece de dados e análises, até mesmo para o PET (polietileno tereftalato) que apresenta a maior taxa de recuperação entre os resíduos plásticos, o de grau alimentício. Nesse trabalho, foram analisados os processos de reciclagem mecânica para diferentes plásticos bem como os processos para a produção do PET reciclado grau alimentícios. Foram realizados balanços em cada elo da cadeia de reciclagem – com as respectivas entradas, saídas e perdas durante cada etapa. Para isso, foram utilizados os dados concedidos pela MaxiQuim – Consultores e Associados. Assim, foi possível estimar o mercado de PET-PCR (resina reciclada pós-consumo) (294,5 mil toneladas), o montante desse material destinado para aterros (194 mil toneladas) e a taxa de reciclagem (60,8%) para o ano de 2017. Do total de material destinado a aterros, cerca de 89% dessas perdas ocorrem na etapa de geração do resíduo. Também, foi realizada a comparação entre os anos de 2008 e 2017 desse mercado, a fim de verificar a influência da implantação do PET-PCR grau alimentício no Brasil. Em 2008, o setor que consumia a maior parcela do PET reciclado era o têxtil (40%); após uma década da liberação dessa tecnologia, esse panorama mudou, sendo o setor de bebidas o principal consumidor (26,4%), seguido pelo setor têxtil (24,6%).

Palavras chave: reciclagem, PET, grau alimentício, cadeia de valor.

Abstract

There is an increase in the generation of plastic waste in urban centers caused by the rise of consumption of industrialized products in the last years. As a consequence, several environmental problems have been occurring due to incorrect disposal of these materials. Thus, plastic packaging ends up in seas, oceans or they are deposited in landfills, wherein thousands of tons of plastic crops accumulate per year, which takes more than 100 years to decompose. To minimize the damage caused by plastics, companies and governments are investing in recycling to increase the life cycle of those materials. In Brazil, there are too few studies and available data concerning this market, even for PET (polyethylene terephthalate), that has the highest recycling rate among plastics. In this study, an analysis regarding the mechanical recycling processes was performed, as well as a description of the processes for production of PET food grade production. It was presented a balance of the recycling chain, including each stream link (inputs, outputs and losses) using the MaxiQuim's data. Thus, it was possible to estimate the PET-PCR market (294.5 thousand tons), the amount of this material destined to landfills (194 thousand tons) and the recycling rate (60.8%) for the year 2017. Considering the total material for landfills, about 89% of the losses occur in the generation stage of the residue. Also, a comparison was made between the years 2008 and 2017 in this market to verify its influence on PET-PCR's market. In 2008, the textile sector had the largest market share of recycled PET (40%); ten years later, the food sector is the main consumer (26,4%) and in second place is the textile sector (24,6%).

Keywords: recycling, PET, food grade, value chain.

Lista de figuras

Figura 1 – Reação de condensação para produção de PET.....	11
Figura 2 – Fluxograma do processo de reciclagem mecânica de plásticos.....	15
Figura 4 – Esquema para a separação dos diferentes tipos de plásticos pela diferença de densidade.....	16
Figura 5 – <i>Esquema do processo bottle-to-bottle.</i>	19
Figura 6 – Esquema do processo Superclean.....	20
Figura 7 – Reação de hidrólise do PET catalisada com NaOH.	20
Figura 8 – Esquema do processo flake-to-resin.	21
Figura 9 – Esquema da cadeia de reciclagem do PET, 2017.....	22
Figura 10 – Balanço na etapa de geração de resíduo de PET, 2017.	23
Figura 11 – Balanço na para coleta seletiva em 2017.....	23
Figura 12 – Esteiras de triagem manual.....	24
Figura 13 - Balanço na etapa de triagem do PET-PCR em 2017.....	25
Figura 14 – Esquema da atuação dos atravessadores (setas em vermelho) na cadeia de reciclagem.....	26
Figura 15 – Balanço na etapa de reciclagem do PET-PCR em 2017.....	28
Figura 16 – Balanço na transformação do PET-PCR em 2017.	29
Figura 17 – Segmentação de mercado de PET-PCR em 2017.....	30
Figura 18 – Gráfico comprando a geração de resíduo plástico total e PET no RSU em 2008 e 2017.	32
Figura 19 – Gráfico comprando a geração de resíduo PET e a produção de resina PET-PCR nos anos de 2008 e 2017.	34

Lista de tabelas

Tabela 1 – Propriedades dos principais polímeros encontrados no RSU.	16
Tabela 2 – Volume de PET-PCR destinado a aterro em 2017.....	29
Tabela 3 – Segmentação do mercado do PET-PCR em 2017 e as principais aplicações da resina dentro de cada segmento.	31
Tabela 4 - Segmentação do mercado de PET virgem nos anos de 2008 e 2017.	33

Lista de abreviaturas e siglas

°C:	Graus Célsius
µg:	Micrograma
ABIPET:	Associação Brasileira da Indústria do PET
ANVISA:	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
FDA:	<i>Food and Drug Administration</i>
kg:	Kilograma
kton:	Mil toneladas
kWh:	Kilowattshora
PEAD:	Polietileno de alta densidade
PEBD:	Polietileno de baixa densidade
PET:	Poli (eliteno tereftalato)
PET-PCR:	Resina pós-consumo
PNRS:	Política Nacional de Resíduo Sólido
PP:	Polipropileno
PRE:	<i>Plastic Recycles Europe</i>
PS:	Poliestireno
PVC:	Poli (cloreto de vinila)
RSU:	Resíduo Sólido Urbano
UFRJ:	Universidade Federal do Rio de Janeiro

Sumário

1.	Introdução.....	9
2.	Revisão Bibliográfica	11
2.1.	PET.....	11
2.2.	Reciclagem.....	12
2.2.1.	Reciclagem Energética	13
2.2.2.	Reciclagem Química.....	13
2.3.	Reciclagem Mecânica	14
2.3.1.	Triagem e separação.....	15
2.3.2.	Moagem.....	17
2.3.3.	Lavagem e secagem	17
2.3.4.	Reprocessamento.....	17
2.4.	Reciclagem para grau alimentício	18
2.4.1.	<i>Bottle-to-bottle</i>	19
2.4.2.	<i>Superclean</i>	19
2.4.3.	<i>Flake-to-resin</i>	20
3.	Análise da cadeia de valor.....	22
3.1.	Geração de resíduo de PET-PCR.....	22
3.2.	Coleta seletiva.....	23
3.3.	Centros de triagem e cooperativas	24
3.4.	Atravessador	26
3.5.	Recicladora	27
3.6.	Transformação	28
3.7.	Aterro	29
3.8.	Mercado	29
4.	Comparação entre os anos de 2008-2017	32
5.	Conclusão.....	35

1. Introdução

Nos últimos anos, com o crescimento populacional, houve aumento na demanda por alimentos, estímulo pelo consumo de produtos industrializados e uma maior exigência do consumidor por produtos com maior qualidade e com menos conservantes. Desta forma, a utilização de embalagens plásticas aumentou consideravelmente, juntamente com o desenvolvimento de novas tecnologias para a fabricação de embalagens que mantenham as propriedades nutricionais e organolépticas dos produtos.

Como a maior parte das embalagens plásticas é descartável, a participação do material plástico aumentou no resíduo sólido urbano (RSU) e, devido ao descarte incorreto ou à falta de coleta seletiva, essas embalagens são destinadas a aterros sanitários, onde demoram mais de 100 anos para se decompor. Para minimizar os impactos causados pelas embalagens descartáveis, uma alternativa é o reprocessamento desse material através da reciclagem mecânica, aumentando-se, desta forma, o ciclo de vida dos plásticos (Romão, W. et al., 2009).

Em 2010, a lei 12.305/10 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) com objetivo de reduzir e prevenir a geração de resíduos no Brasil por meio da criação de políticas e estratégias que visam à redução, reutilização e reciclagem de resíduos, tanto industriais como de pós-consumo (Conke, L, Nascimento, E, 2018). Com a PNRS, a responsabilidade sobre o descarte adequado de embalagens pós-consumo é compartilhada entre todos os participantes da cadeia de valor – fabricantes, comerciantes, importadores, distribuidores, cidadãos e prestadores de serviços – cabendo ao setor privado a maior parcela dessa responsabilidade. Assim, as empresas fabricantes de embalagens plásticas devem viabilizar a logística reversa de seus produtos, criando meios para que o usuário final possa descartar corretamente as embalagens e também criar opções para o reaproveitamento do resíduo em suas cadeias produtivas.

Nesse cenário, encontra-se o PET (polietileno tereftalato), material termoplástico largamente utilizado para a fabricação de embalagens pelo setor de bebidas e alimentos. Como muitos tipos de plásticos, o PET pode ser reciclado através de processos mecânicos. Além disso, em 2008 a ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) autorizou a fabricação de material reciclado de PET para a fabricação de embalagens alimentícias (Cruz, S. A. et al, 2011).

O presente trabalho tem como objetivo analisar o processo de reciclagem mecânica para PET – descrevendo as suas etapas – e os processos para a fabricação do PET-PCR grau alimentício. Além disso, devido à carência de dados sobre a cadeia de reciclagem do PET, será analisado cada elo dessa cadeia, realizando balanços com intuito de encontrar gargalos, etapas de perda e dimensionar o atual mercado de PET reciclado. Por último, será comparado o mercado de 2008 com 2017, com a finalidade de avaliar as modificações causadas pela implantação da tecnologia de PET grau alimentício no mercado brasileiro.

Para isso, serão utilizados dados cedidos pela MaxiQuim – Consultores e Associados, empresa de análises de mercado focada nos segmentos de químicos e petroquímicos.

2. Revisão Bibliográfica

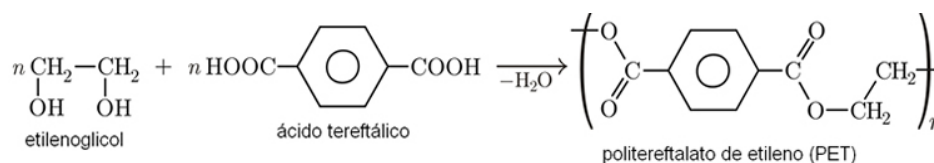
Esse capítulo contempla a revisão bibliográfica realizada sobre a reciclagem de plásticos e seus processos. Primeiramente, será realizada uma breve revisão sobre o polímero em questão, então serão abordados os principais tipos de reciclagem e um detalhamento do processo de reciclagem mecânica. Por último, tem-se a revisão sobre os processos mais utilizados para a fabricação do PET-PCR grau alimentício.

2.1. PET

O polietileno tereftalato, mais conhecido como PET, é um polímero sintético termoplástico desenvolvido em 1941 pelos químicos ingleses Whinfield e Dickson, com objetivo de produzir fibras têxteis. O PET é produzido através da reação de condensação do etilenoglicol com o ácido tereftálico, apresentada na Figura 1. A partir da década de 1970, devido à criação do processo de injeção a sopro e às suas propriedades, o PET começou a ser utilizado na fabricação de embalagens, principalmente em garrafas no setor de bebidas carbonatadas (Guelbert, T, et. al, 2007). No Brasil, o PET foi utilizado, primeiramente, pela indústria têxtil no final dos anos 80. Apenas em 1993 começou a ter uma forte presença no mercado nacional de embalagens, sendo utilizado majoritariamente no setor de bebidas substituindo as antigas garrafas de vidro. Atualmente, o PET está presente em diversos produtos como filmes orientados, plásticos de engenharia, fibras têxteis, frascos de refrigerante, farmacêuticos e de limpeza, embalagens transparentes para bolos, entre outros.

Em comparação com as embalagens tradicionais, o PET apresenta uma série

Figura 1 – Reação de condensação para produção de PET.



Fonte: WELLE, 2011.

de vantagens como peso reduzido (quase dez vezes menor que o vidro), fácil processamento e alta resistência mecânica, química e à pressão interna. Com isso, o PET mostrou-se o material ideal para os recipientes do setor de bebidas, reduzindo custos de produção e, principalmente, de transporte. Além disso, o PET passou a ser utilizado para o acondicionamento de alimentos, por apresentar excelentes propriedades de barreira que impedem a troca de gases, umidade e absorção de

odores com o meio externo, preservando a qualidade e características originais dos produtos. Finalmente, destaca-se que o PET é um material atóxico e inodoro podendo entrar em contato direto com alimento.

Segundo a ABIPET (Associação Brasileira da Indústria do PET), os setores de embalagens de alimentos e bebidas são responsáveis por mais de 90% do consumo dessa resina no Brasil. Logo, o foco desse trabalho será o PET utilizado por esses segmentos, comumente chamado de PET grau garrafa.

Outros benefícios do PET são a possibilidade de reciclar 100% desse material através de processos simples e a sua decomposição não gera substâncias tóxicas. Porém, como outros tipos de plásticos, o PET não se degrada rapidamente por processos naturais – demorando mais de 100 anos para se decompor – e, ao ser descartado de forma incorreta, as embalagens de PET são encaminhadas a aterros sanitários. até mesmo, acabar em mares e oceanos, onde se acumulam milhares de toneladas por ano de material reciclável.

2.2. Reciclagem

Em 2017 foram produzidas 3.257 mil toneladas de resíduo plástico nos centros urbanos no Brasil (MaxiQuim, 2018). Diante desse cenário, a reciclagem mostra-se como a melhor alternativa. Por meio dela, o resíduo plástico volta a ser matéria-prima para a indústria de transformação, podendo-se, desta forma, aumentar o ciclo de vida do plástico e diminuir o volume de material reciclável depositado em aterros.

Hoje em dia, há uma grande polêmica sobre a utilização de embalagens plásticas descartáveis. Dessa forma, as empresas de transformação vêm mudando suas estratégias – traçando metas sustentáveis. Assim, as resinas recicladas são uma opção sustentável de matéria-prima e também possuem um preço inferior quando comparadas à resina virgem, aquela que ainda não foi processada.

Em termos de reciclagem de plásticos, primeiramente deve-se definir os tipos de resíduos que são a matéria-prima para esse setor: industrial e pós-consumo. O primeiro deles são aparas e resíduos do próprio processamento do material, ainda na fase industrial, que podem ser recuperados e voltar para o início do processo. O resíduo pós-consumo, como o seu próprio nome diz, passou pelo consumidor, destacando-se as embalagens plásticas, garrafas, bandejas, entre outros, que compõem o resíduo sólido urbano, vulgarmente conhecido como lixo urbano.

Normalmente, resíduos industriais possuem maior qualidade que o de pós-consumo, por estarem mais limpos e apresentarem menor grau de processamento. Porém, nesse trabalho será analisada a cadeia para a produção do PET-PCR (resina pós-consumo), devido ao grande volume gerado desse resíduo e as diferentes tecnologias existentes para a sua reciclagem. Para a recuperação do resíduo plástico existem três tipos de reciclagem: energética, química e mecânica, que serão explicadas separadamente a seguir.

2.2.1. Reciclagem Energética

Segundo Spinacé e De Paoli (2004), a reciclagem energética consiste na queima do resíduo em fornos industriais com temperatura em torno de 1.000 °C. Os gases gerados na queima passam para uma caldeira de recuperação onde é produzido vapor, o qual aciona um gerador convertendo a energia térmica em energia elétrica. Por ser derivado do petróleo, o plástico possui alto poder calorífico. A queima de um quilograma de plástico libera energia equivalente à combustão de um litro de óleo diesel, podendo-se produzir 650 kWh a cada tonelada de plástico. A vantagem desse tipo de reciclagem é utilização de resíduos não recicláveis – alguns tipos de plásticos e embalagens como as laminadas utilizadas em salgadinhos – para a geração de energia, ao invés de destiná-los a aterros. Porém, seu custo de implementação é elevado e o processo libera dióxido de carbono (um dos gases que causa o efeito estufa). Além disso, os gases de exaustão devem passar por um sistema de tratamento.

2.2.2. Reciclagem Química

A reciclagem química consiste na despolimerização do polímero plástico para a obtenção do monômero. Para isso, segundo Spinacé e De Paoli (2004), pode ser utilizado processos de solólises (hidrólise, alcoólise, amilose), métodos térmicos (pirólise, gaseificação e hidrogenação) ou processos térmicos/catalíticos (pirólise combinado com catalisadores específicos). A reciclagem química é vantajosa pois permite que diversos tipos de plásticos e contaminantes sejam processados juntos, diminuindo, assim, o custo com a separação do resíduo. Por outro lado, materiais que passaram pela reciclagem química podem perder a sua capacidade de serem

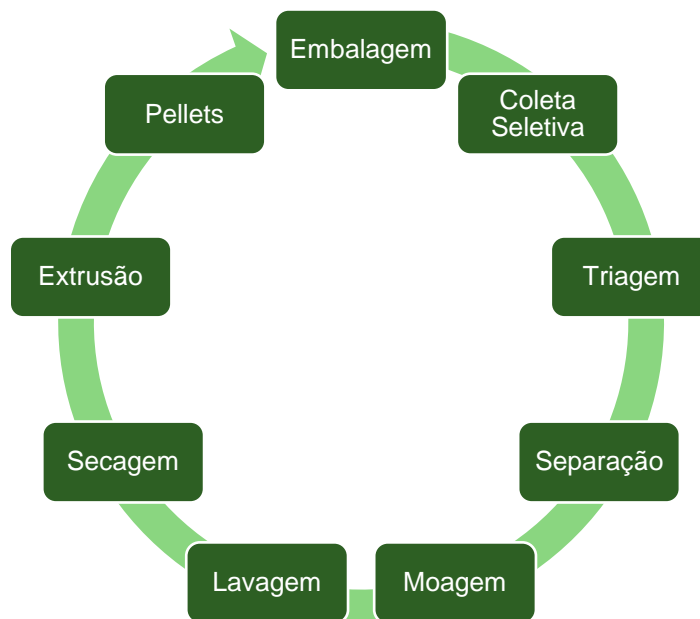
reciclados novamente, não podem ser utilizados em qualquer tipo de produto pois podem conter contaminantes trazendo riscos à saúde, principalmente se forem utilizados em embalagens de alimentos.

Antes de passar à descrição do terceiro tipo de reciclagem, é importante ressaltar que esses dois tipos de reciclagem não possuem grande representatividade no Brasil. No caso da reciclagem química, existem algumas plantas para o processamento de RSU e, para a reciclagem energética, há apenas uma planta piloto na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), a Usina Verde. As reciclagens energética e química são largamente utilizadas na Europa e Japão, pois em países com pequena extensão territorial é inviável a criação de grandes aterros sanitários. Por exemplo, segundo a *Plastics Recyclers Europe* (PRE), a Alemanha destina 60% do seu resíduo plástico para a geração de energia.

2.3. Reciclagem Mecânica

A reciclagem mecânica consiste, basicamente, em processos mecânicos para obtenção da resina reciclada; esse é o tipo de reciclagem mais utilizado no país e, por esta razão, este tipo de reciclagem será abordada com maiores detalhes. Esse processo consiste nas seguintes etapas que serão detalhas a seguir (Figura 2): separação do resíduo sólido, moagem, lavagem, secagem e reprocessamento.

Figura 2 – Fluxograma do processo de reciclagem mecânica de plásticos.



Fonte: Próprio autor.

2.3.1. Triagem e separação

Após o resíduo ser recolhido pela coleta seletiva ou catadores, ele chega aos centros de triagem ou às cooperativas que realizarão a separação dos materiais. Nessa etapa são separados metais, papeis, vidros e plásticos – alguns já são separados entre rígidos e flexíveis. A triagem é uma etapa muito importante pois alguns contaminantes em concentrações baixas podem alterar as propriedades da resina reciclada e, ao se misturar dois tipos diferentes de plásticos, a reciclagem dos mesmos pode ser comprometida.

No Brasil, a separação é realizada, principalmente, de forma manual e, assim, para distinguir entre os diferentes tipos de plásticos, o empregado conta muitas vezes somente com a própria experiência. Além disso, muitas embalagens só podem ser produzidas a partir de um tipo de polímero, como é o caso das garrafas de bebida carbonatada que são feitas de PET.

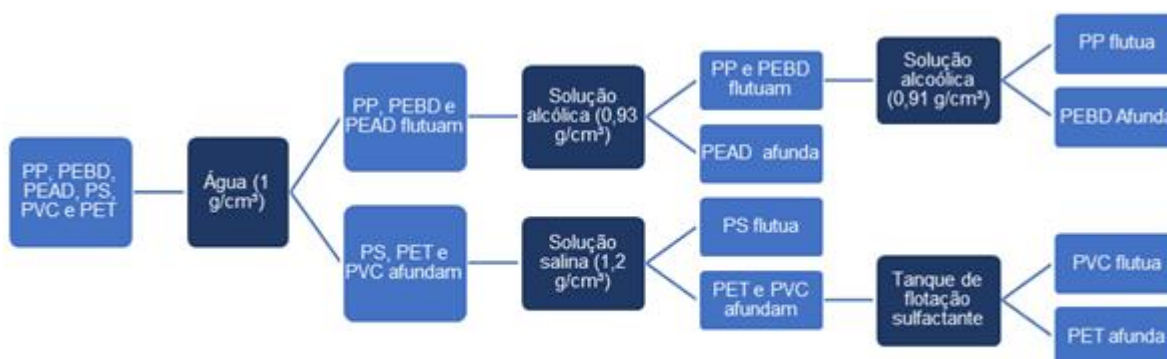
Muitas empresas de reciclagem utilizam a separação automatizada devido à simplicidade e ao baixo custo de operação. Esse processo é baseado na diferença de massa específica entre os polímeros, conforme descrito por Spinacé e De Paoli (2004). A Tabela 1 apresenta as massas específicas e a temperatura de fusão de diferentes polímeros.

Tabela 1 – Propriedades dos principais polímeros encontrados no RSU.

Polímero	Massa específica a 20 °C (g/cm ³)	Ponto de Fusão (°C)
PP	0,850 - 0,913	165
PEBD	0,915 - 0,935	105
PEAD	0,940 - 0,970	130
PS	1,04 - 1,12	220
PET	1,335 - 1,420	180
PVC	1,391 - 1,431	127

Fonte: Mazzuco, M, 2008.

Conforme pode ser observado, as poliolefinas (PP, PEBD e PEAD) possuem massa específica menor do que a da água (1 g/cm³) e o PS, PET e PVC massa específica maior. Desta forma, em um tanque com água pode-se separar esses dois grupos e, em tanques seguintes, pode-se utilizar soluções salinas e alcoólicas para separar cada polímero, conforme representado pelo esquema da Figura 4.

Figura 3 – Esquema para a separação dos diferentes tipos de plásticos pela diferença de densidade.

Fonte: SPINACÉ E DE PAOLI, 2004.

Como o PET e PVC possuem massas específicas muito próximas, a sua separação é difícil e requer o uso de um tanque de flotação. Nesse processo, é adicionado surfactantes que aumenta a afinidade do PET pela água (SAISINCHAI, 2014). Assim, as bolhas de ar do tanque de flotação arrastam, preferencialmente, o PVC que ficará na superfície, enquanto o PET afunda no tanque. Essa separação é essencial, pois uma contaminação de, apenas, 50 ppm de PVC pode comprometer um lote todo de PET (Spinacé e De Paoli, 2004); o PVC degrada-se na temperatura

de processamento do PET – cerca de 280 °C – gerando um produto ácido, o qual hidrolisa o PET formando pontos pretos no produto.

Vale ressaltar que existem outros métodos de separação mais sofisticados, destacando-se a espectroscopia, Raio-X e identificação com laser. A espectroscopia consiste na emissão de ondas eletromagnéticas na região do infravermelho, assim quando as ondas são refletidas na superfície dos plásticos e captadas pelo sensor, pode-se traçar perfis de absorção característicos de cada polímero. O método de Raio-X possui princípio semelhante ao da espectroscopia, porém utiliza ondas na região do Raio-X. A separação por laser consiste na emissão de um feixe luminoso sobre o material, então é utilizado um sensor termográfico para avaliar várias propriedades do material, como condutividade e capacidade térmica, coeficiente de absorção etc.

2.3.2. Moagem

Na etapa seguinte, o material é moído para formação de *flakes* em moinhos de facas rotativas. Os *flakes* devem ter tamanho uniforme para que na etapa de processamento a fusão ocorra uniformemente, evitando, assim, que materiais mais finos entrem em fusão antes e queimem na extrusora.

2.3.3. Lavagem e secagem

Posteriormente, os *flakes* são lavados em uma solução de detergente e então secos em processo mecânico ou térmico. Essas etapas são importantes, pois no reprocessamento, contaminantes orgânicos podem queimar causando mal cheiro e contaminando o material reciclado. Além disso, no reprocessamento, poliamidas e poliésteres (PET), se estiverem úmidos, podem sofrer hidrólise e o resíduo de detergente, da etapa de lavagem, age como catalisador dessa reação.

2.3.4. Reprocessamento

A última etapa consiste no reprocessamento do material através do processo de extrusão do material fundido para formação de produtos acabados ou de *pellets* de resina reciclada. A extrusora também realiza a homogeneização do material reciclado, pois resíduos do pós-consumo apresentam uma grande heterogeneidade de cores, formulações e podem sofrer degradações nas etapas anteriores por cisalhamento, termo-oxidativas e por hidrólise.

Como citado anteriormente, a presença de contaminantes pode prejudicar a etapa de reprocessamento. Na Tabela 1 é possível observar que os polímeros possuem pontos de fusão diferentes. Dessa maneira, contaminantes que fundem antes podem queimar na extrusão ou, ainda, resíduos com ponto de fusão alto podem continuar em estado sólido. Esses problemas afetam negativamente a qualidade do produto podendo, até mesmo, inutilizar o material reciclado. Para reduzir esses efeitos negativos é comum a utilização de grades de aço no processo de extrusão para a retenção do material não fundido. Também, processos de degradação e a presença de contaminantes afetam a reciclabilidade dos materiais, diminuindo, desta forma, o número de ciclos de reciclagem que os plásticos podem sofrer sem terem alterações significativas nas suas propriedades.

2.4. Reciclagem para grau alimentício

Os processos descritos até aqui são os mais comuns para a reciclagem dos termoplásticos; porém, a reciclagem mecânica convencional não garante alto grau de limpeza necessária para as resinas recicladas provenientes do pós-consumo serem utilizadas em embalagens de alimentos. Como o material polimérico possui a capacidade de absorver compostos químicos, após a utilização das embalagens, essas podem conter compostos agregados a sua matriz plástica. Esses contaminantes podem ser originados de alimentos acondicionados; como exemplo desse tipo de contaminação, pode-se citar a absorção de limoneno de sucos de frutas e de adesivos e de cola utilizados em rótulos que foram processados juntos na reciclagem. Ainda, a contaminação do plástico pode vir do mau uso das embalagens pelo consumidor, como usá-las para armazenamento de gasolina, defensivos agrícolas, inseticidas, produtos de limpeza, óleos, entre outros.

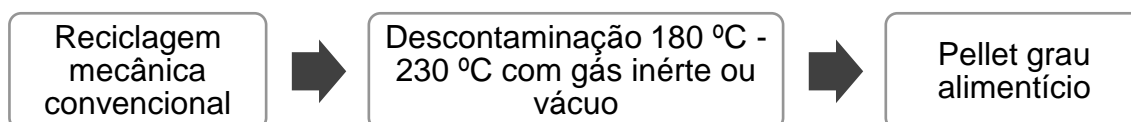
Em 1998, no Brasil, a Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde com a publicação da portaria nº 987 tornou possível a utilização de PET pós-consumo para fabricação de embalagens multicamadas para bebidas carbonatadas. Esse tipo de recipiente é fabricado através de processo de co-injeção, no qual o PET reciclado fica entre duas camadas de resina virgem, prefinindo, desta forma, a migração de contaminantes para o produto. Em março de 2008, através da resolução RDC nº 20, a ANVISA possibilitou o uso de tecnologias para a produção PET-PCR grau alimentício para fabricação de embalagens de alimentos utilizando apenas resina reciclada.

Segundo a nova resolução, o grau alimentício pode ser produzido por meio das tecnologias *bottle-to-bottle*, *superclean* e *flake-to-resin* (CRUZ et al., 2011), as quais são aprovadas pela agência norte-americana FDA (*Food and Drug Administration*) e pelo Instituto alemão *Fraunhofer*. Basicamente, essas técnicas utilizam altas temperaturas, atmosfera inerte ou vácuo e/ou tratamento superficial com produtos não perigosos de forma que os contaminantes devem se difundir pela matriz plástica até a superfície onde são removidos do reciclado. Os processos de reciclagem grau alimentício para o PET foram detalhados por Welle (2011) e serão apresentados a seguir.

2.4.1. *Bottle-to-bottle*

O processo *bottle-to-bottle* – esquematizado na Figura 4 – consiste na adição de uma etapa ao final da reciclagem convencional. Após o material ser separado, moído, lavado, secado e extrusado, os *pellets* são encaminhados para um reator de policondensação no estado sólido, o qual é operado sobre atmosfera inerte, ou sob vácuo, e com temperatura entre 180 e 220 °C. O tempo de residência é relativamente alto – 6 a 20 horas – a fim de garantir que contaminantes no centro das partículas migrem para a superfície. A extrusão anteriormente à entrada do reator garante a homogeneização dos contaminantes na matriz plástica e uniformização no tamanho dos *pellets*; assim, é possível facilmente controlar as propriedades do PET. Devido à reação de policondensação que ocorre no reator, a massa molar do polímero e sua viscosidade aumentam, revertendo possíveis degradações em processos anteriores, melhorando a qualidade do material reciclado.

Figura 4 – Esquema do processo *bottle-to-bottle*.



Fonte: Welle,2011.

2.4.2. *Superclean*

Na Figura 5 pode-se observar o esquema da tecnologia *superclean*, a qual consiste na lavagem dos *flakes* com pressão elevada, atmosfera inerte, temperatura em torno de 150 °C e presença de soda cáustica (NaOH) – catalisador da reação de hidrólise do PET (Figura 6). Como os possíveis contaminantes do PET vêm do meio externo

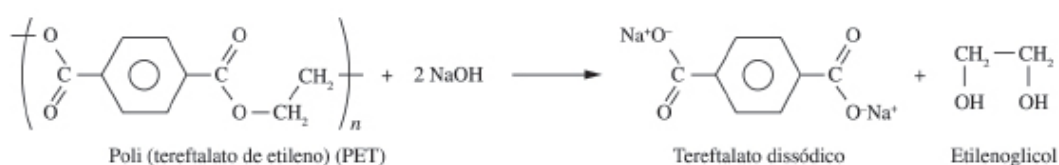
para o interior da matriz polimérica, a maior concentração deles está na superfície dos *flakes*. Logo, nesse processo há a despolimerização da superfície liberando os contaminantes para o meio onde serão degradados. Depois disso, os *flakes* devem ser lavados com água, secos e então extrusados sobre temperatura de 280 °C a baixa pressão.

Figura 5 – Esquema do processo Superclean.



Fonte: Welle,2011.

Figura 6 – Reação de hidrólise do PET catalisada com NaOH.

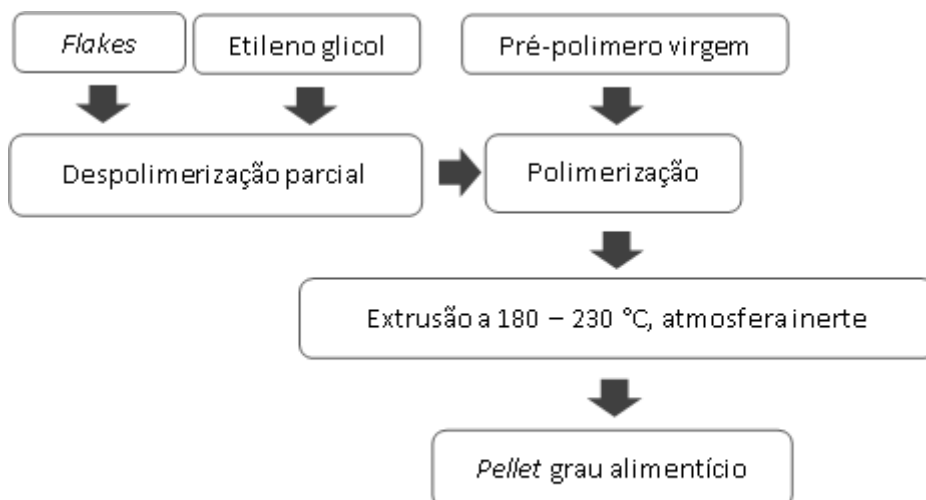


Fonte: Fonseca et al., 2014.

2.4.3. Flake-to-resin

Diferentemente dos processos anteriores, que levam apenas o PET-PCR, o *flake-to-resin* processa em conjunto resíduo e resina virgem. *Flakes* de PET-PCR sofrem despolimerização quando aquecidos juntos com etilenoglicol gerando uma mistura de oligômeros, liberando os contaminantes no meio. Em uma segunda linha de produção, há produção de um pré-polímero virgem com grau de polimerização semelhante aos oligômeros da primeira. O próximo passo consiste na união das linhas onde há polimerização da mistura de pré-polímero virgem com os oligômeros reciclados. Essa tecnologia permite a remoção dos contaminantes, pois o processo ocorre a baixa pressão (100 Pa) e alta temperatura (acima de 270 °C). Na Figura 7 temos o esquema resumido da desse processo.

Figura 7 – Esquema do processo flake-to-resin.



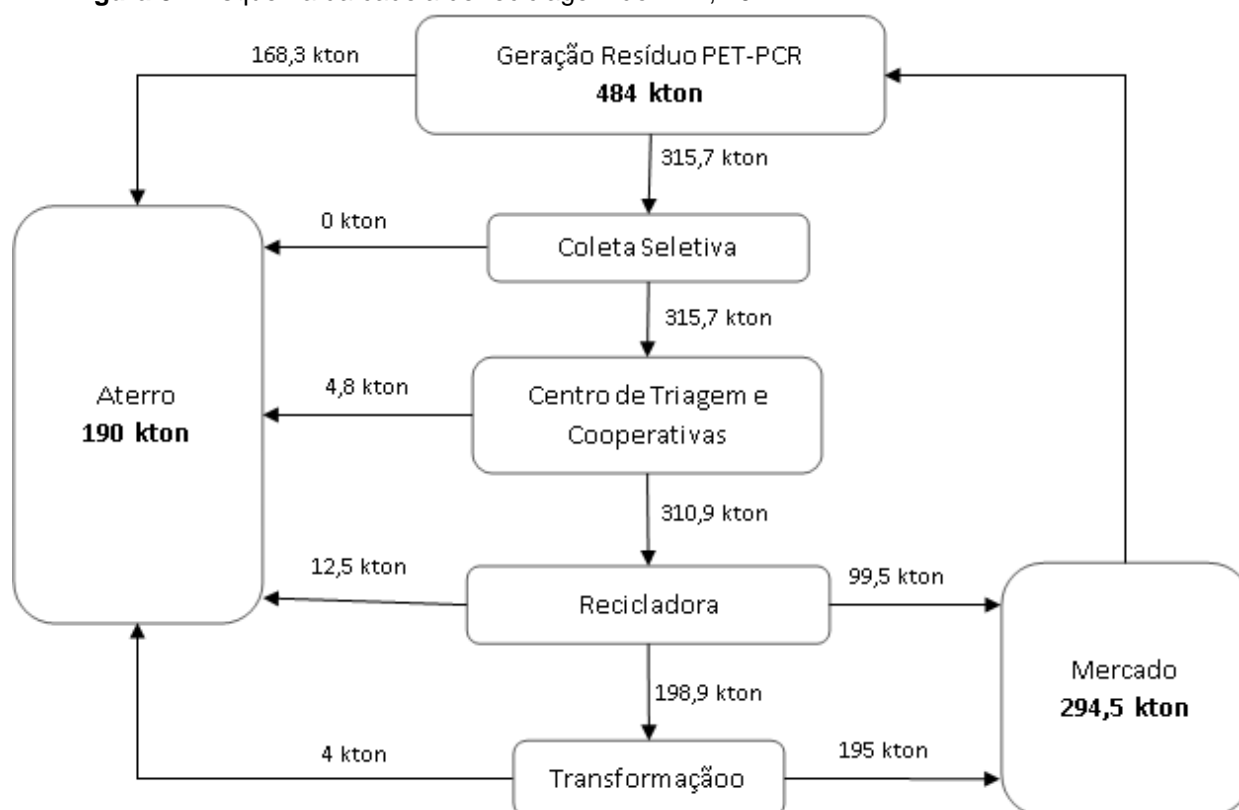
Fonte: Welle,2011.

Como os tipos e níveis de contaminantes podem variar significativamente para cada lote de matéria prima, os processos para a reciclagem de grau alimentício devem ser sempre testados para analisar a sua capacidade de limpeza. Para isso, o FDA desenvolveu o *challenge test*, que consiste na contaminação controlada da resina virgem. Assim, as garrafas virgens são expostas, durante duas semanas, a um coquetel de produtos contendo acetona, benzeno, clorobenzeno, fenilciclohexano, benzofenona e estearato de metila. Após passarem por todo o processo de reciclagem, os níveis de contaminantes são medidos, não podendo ultrapassar o limite de 220 µg/kg, incluindo um fator de segurança de 0,01% (uma garrafa entre 10.000) (Welle, 2011).

3. Análise da cadeia de valor

Nesse trabalho será avaliada a cadeia de valor de reciclagem do resíduo PET pós-consumo, representada na Figura 8, realizando um balanço em cada elo da cadeia (*players*) com objetivo de encontrar gargalos e propor soluções para a maior recuperação desse material. A análise será realizada a partir dos dados coletados pela MaxiQuim através de pesquisa primária com os principais *players*.

Figura 8 – Esquema da cadeia de reciclagem do PET, 2017.



Fonte: MaxiQuim, 2018.

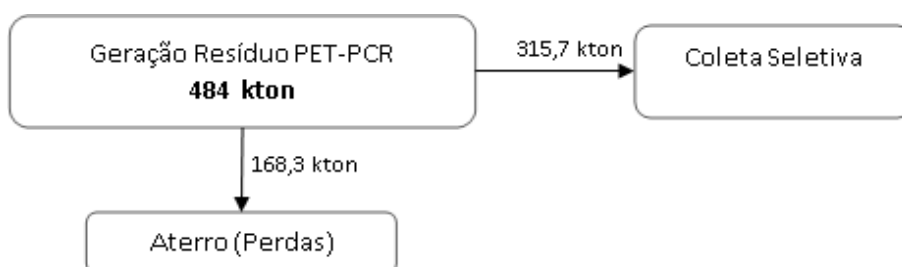
3.1. Geração de resíduo de PET-PCR

No Brasil, apenas em 2017, foram geradas mais de 3.257 mil toneladas (kton) de resíduo plásticos nos centros urbanos. Cerca de 14,9 % (484 kton) desse material são feitos de PET, como embalagens para alimentos, frascos de produtos de limpeza e higiene pessoal; a maior parcela, no entanto, é de garrafas de bebidas de refrigerante, água, isotônicos e sucos

Nessa etapa da cadeia de valor, tem-se a maior porcentagem de perdas, chegando a 34,8 %. Isso se deve à baixa conscientização da população para a correta destinação dos resíduos. Muitas pessoas desconhecem a importância da separação

do seu lixo, misturando resíduo orgânico com material reciclável e, desta forma, uma grande parcela de resíduos plásticos é desviada da cadeia de valor e destinada a aterros, não chegando à coleta seletiva. No esquema a seguir temos o balanço realizado na etapa de geração de resíduo.

Figura 9 – Balanço na etapa de geração de resíduo de PET, 2017.

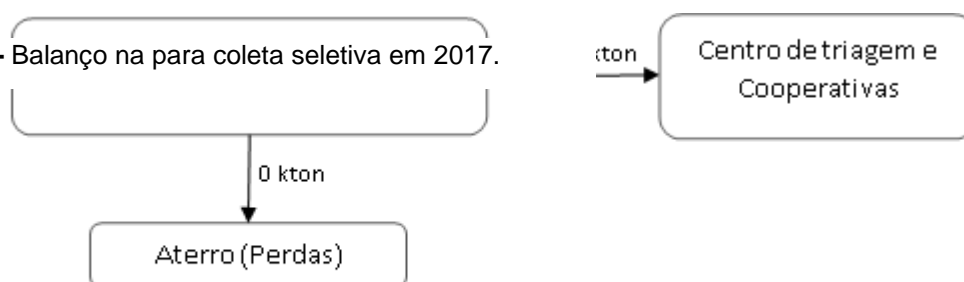


Fonte: MaxiQuim, 2018.

3.2. Coleta seletiva

Segundo a PNRS, a coleta seletiva é de responsabilidade municipal que deve, obrigatoriamente, apresentar um próprio sistema para o recolhimento do resíduo reciclável gerado pela população. Após 7 anos da implantação da PNRS, apenas 18% dos municípios brasileiros apresentam essa atividade. Em cidades que não possuem coleta seletiva, o material pós-consumo é coletado de maneira informal por pessoas chamadas de “catadores”. A atuação dos catadores está prevista na PNRS e essa atividade profissional é reconhecida pelo Ministério do Trabalho e Emprego desde 2002. No caso da coleta do PET, grande parcela do resíduo é coletado informalmente – mesmo em cidades que apresentam coleta seletiva, pois, para os catadores, embalagens fabricadas com PET são fáceis de reconhecer e apresentam alto valor de compra quando comparado com outros tipos de plásticos. Devido à atuação conjunta dos catadores e da coleta seletiva, as perdas nessa seção da cadeia são muito pequenas, como podemos observar na Figura 10.

Figura 10 – Balanço na para coleta seletiva em 2017.



Fonte: MaxiQuim, 2018.

Apesar disso, há uma série de problemas que interferem negativamente na coleta do PET; um desses problemas é a mistura de materiais recicláveis, como vidros, papel, alumínio e outros tipos de plásticos. No Brasil, a população não possui o hábito de separar resíduos recicláveis por tipos, ato que já é adotado em alguns países europeus, que já possuem containers diferentes para cada tipo de resíduo dentro dos condomínios.

Para o PET, o clima interfere significativamente no nível de material coletado, pois há uma sazonalidade no consumo de bebidas. Por exemplo, nos meses mais frios a comercialização de bebidas diminui e, conseqüentemente, o volume de embalagens presente no resíduo urbano também diminui. Além do frio, períodos de muita chuva reduzem o recolhimento de embalagens PET, devido à menor atuação dos catadores, mostrando a dependência da coleta com o setor informal.

3.3. Centros de triagem e cooperativas

Após o resíduo urbano ser coletado, ele é destinado para os centros de triagem e cooperativas, onde toda a mistura de materiais será separada pelos diferentes tipos: vidros, metais, papéis e plásticos. No Brasil, a triagem ocorre, principalmente, de forma manual, onde o resíduo percorre uma esteira e os trabalhadores realizam a separação. A Figura 11 mostra uma fotografia de um centro de triagem.

Figura 11 – Esteiras de triagem manual.



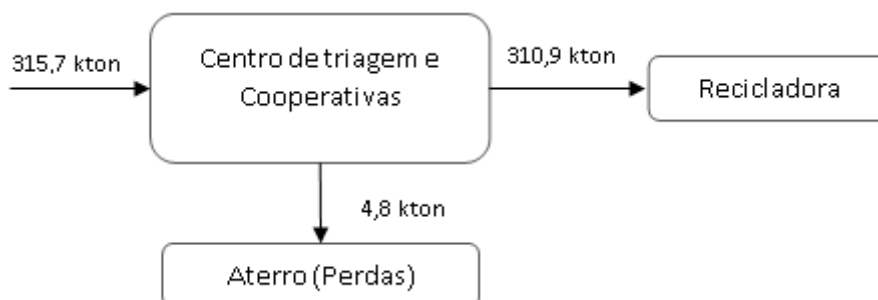
Fonte: Infraestrutura Urbana, 2011.

A PNRS estabelece o seguinte princípio: “O reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho

e renda e promotor de cidadania” (2010, p. 3). Assim, o resíduo sólido sendo um fomentador da cidadania, deve ser doado pela coleta seletiva e pelas empresas para as cooperativas, sendo proibida, por lei, a sua comercialização. Além disso, as cooperativas recebem suporte dos governos locais e do setor privado para a compra de equipamentos, caminhões, treinamento de funcionários. etc.

No caso do PET, mesmo com a separação manual, as suas perdas são baixas (1,5 %), pois as garrafas PET são facilmente reconhecidas e possuem alto preço de venda. Nessa etapa, o PET é separado por cores: cristal (transparente), verde e azul. Embalagens com outras cores (vermelhas e rosas) são descartadas, pois as etapas da reciclagem mecânica não eliminam a coloração dos plásticos; assim sendo, resíduos cristais possuem maior valor de venda. Embalagens termoformadas de PET também são separadas, porém, são destinadas a compradores específicos, não sendo misturadas com embalagens de bebidas e produtos de limpeza. Embalagens flexíveis multicamadas, mesmo contendo algumas camadas de PET, são destinadas a aterros, pois o seu processo de reciclagem é muito difícil. A Figura 12 representa o balanço realizado na etapa de triagem, a qual pode-se observar que grande parcela do resíduo de PET é destinada as recicladoras.

Figura 12 - Balanço na etapa de triagem do PET-PCR em 2017.



Fonte: MaxiQuim, 2018.

Apesar das poucas perdas nesse elo da cadeia, as cooperativas apresentam algumas dificuldades, destacando-se o baixo nível de treinamento dos cooperativados, uma vez que a triagem é realizada manualmente e depende do conhecimento das pessoas que trabalham na esteira para realizar a separação correta. Também, o resíduo que chega nas cooperativas não passa anteriormente por uma lavagem e, assim, o material que está sendo transportado sobre a esteira de triagem está, muitas vezes, sujo com material orgânico, restos de alimentos, óleos, entre outros. Finalmente, vale ressaltar um outro obstáculo que refere-se à baixa

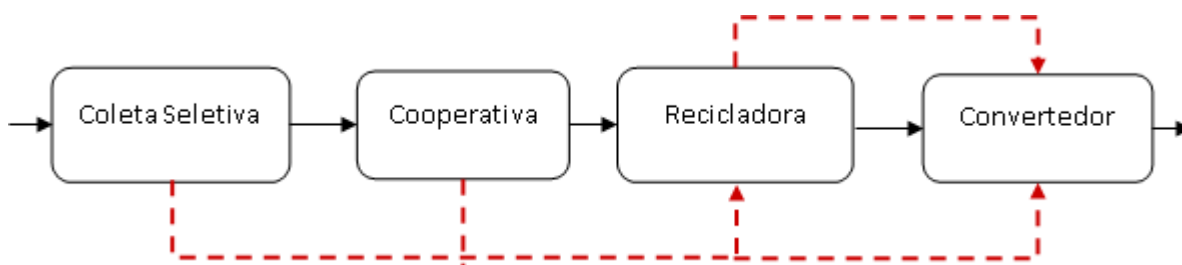
profissionalização das cooperativas, que possuem, em geral, muitos problemas administrativos e, muitas vezes, não possuem um departamento comercial.

Antes de ser vendido, o resíduo de PET é prensado em fardos, os quais são separados por cores (cristal e verde) e pelo tipo de embalagens (bebidas e produtos de limpeza). Porém, muitas vezes, as cooperativas não conseguem vender seus fardos diretamente para as empresas de reciclagem, pois as recicladoras exigem grandes volumes nas suas compras, exigência que muitas cooperativas não conseguem atender. Aliado a isso, conforme comentado anteriormente, as cooperativas carecem de uma área comercial, dando origem a outro elo da cadeia, atravessadores.

3.4. Atravessador

Os atravessadores, também conhecidos como sucateiros, não estão representados na Figura 8 uma vez que não estão previstos na PNRS, sendo considerados agentes externos à cadeia. Conforme já comentado, as recicladoras apresentam uma série de dificuldades administrativas e comerciais e, também, de logística associada à falta de espaço físico para manter estoques de resíduos. Como as recicladoras compram apenas grandes volumes de matéria-prima, muitas cooperativas não conseguem atender a essa demanda. Desta forma, os atravessadores possuem uma forte atuação na cadeia de reciclagem de plásticos, comprando resíduo das cooperativas e catadores, acumulando esse material e comercializando com as recicladoras. O esquema mostrado na Figura 14 a atuação dos sucateiros na cadeia.

Figura 13 – Esquema da atuação dos atravessadores (setas em vermelho) na cadeia de reciclagem.



Alguns atravessadores realizam os processos de lavagem, secagem e moagem. Além disso, muitas vezes há mais que um sucateiro atuando em sequência na cadeia de reciclagem, e, com isso o resíduo que chega nas recicladoras torna-se mais caro e os *players* iniciais são prejudicados.

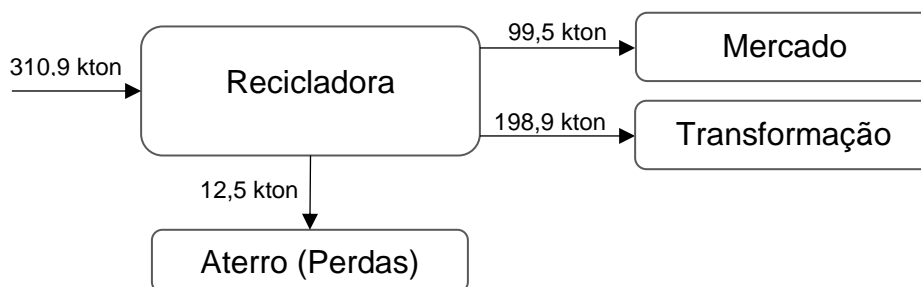
Dessa forma, foram criadas redes de cooperativas, as quais possuem atuação semelhante aos sucateiros – acumulando material para ser vendido para recicladoras –, porém, são formadas por aglomerados de cooperativas com objetivo de aperfeiçoar a logística, buscar melhores mercados e preços e investir em treinamentos e capacitação de seus membros.

3.5. Recicladora

As empresas de reciclagem compram o resíduo plástico pós-consumo e realizam o reprocessamento através dos processos descritos anteriormente. No Brasil, atualmente existe cerca de 71 empresas de reciclagem de PET, sendo a maior parcela delas empresas de pequeno e médio porte – capacidade de até 500 toneladas por mês. Em 2008, a ANVISA autorizou a fabricação de PET-PCR grau alimentício. Esse tipo de resina é produzido por empresas de grande porte, pois requer maior investimento em equipamentos e processos para garantir alto grau de eficiência nas etapas de descontaminação. Assim, essas empresas devem ter seus produtos registrados e aprovados pela ANVISA. Atualmente, há 8 empresas autorizadas a produzir o PET-PCR para contato com alimento no Brasil, sendo grande parte delas localizada na região sudeste do país.

Nessa etapa da cadeia, as perdas são de cerca de 4%, devido à presença de materiais indesejáveis na matéria-prima, como embalagens com invólucro de PVC. As perdas no processo são mínimas, pois aparas e resíduos são reprocessados dentro da própria empresa. Parte das empresas de reciclagem produz o produto final, como embalagens, garrafas e corda, como pode-se observar no balanço realizado no elo das recicladoras (Figura 14). Esses produtos são destinados diretamente ao mercado e representaram no ano de 2017 cerca de 99,5 kton. Porém, a maior parcela – cerca de 198,9 k ton (64%) – é comercializada na forma de *pellets* para a indústria de transformação.

Figura 14 – Balanço na etapa de reciclagem do PET-PCR em 2017.



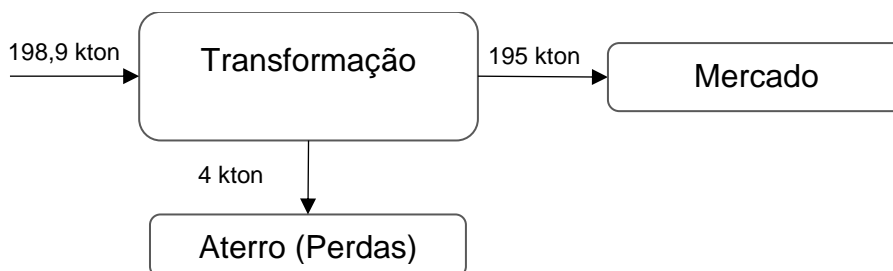
Fonte: MaxiQuim, 2018.

3.6. Transformação

As empresas de transformados plásticos utilizam como matéria-prima os *pellets*, produzidos na etapa anterior, para a fabricação de uma diversidade de produtos que serão utilizados pelo consumidor. O principal motivo para a utilização de resina reciclada pela empresa de transformação é o seu preço competitivo frente à resina virgem. Normalmente, *pellets* de PET-PCR são comercializados a 70% do valor da resina virgem e PET-PCR grau alimentício, material mais nobre, custa cerca de 80% do valor do *pellet* virgem. Geralmente, as empresas utilizam uma blenda de material reciclado com virgem para incrementar alguma propriedade, pois não há uma padronização nas características dos *pellets* PCR comercializados.

Além disso, o aumento da conscientização ambiental da população em geral é outro motivo para o uso de resina reciclada na etapa de transformação. Com o consumidor mais consciente, a utilização de embalagens plásticas descartáveis torna-se um ponto negativo; assim, as grandes empresas acabam sendo pressionadas a traçarem metas sustentáveis e usarem o material reciclado para melhorar a imagem de seus produtos.

As perdas pela indústria de transformação representam apenas 2%, sendo estas provenientes do processo. Assim, realizando o balanço para esse elo da cadeia (Figura 15), estima-se que dos 198,9 kton pode-se produzir cerca de 195 kton (98%) de produtos utilizando PET-PCR nesse elo da cadeia, que somados aos 99,5 kton fabricados na etapa anterior, tem-se o total de 294,5 kton de material PET recuperado em 2017.

Figura 15 – Balanço na transformação do PET-PCR em 2017.

3.7. Aterro

As perdas da cadeia de reciclagem são destinadas aos aterros, onde o material, que poderia ser reaproveitado, será depositado e levará centenas de anos para se decompor. Como citado anteriormente, em 2017 foram produzidos cerca de 484 kton de resíduo PET proveniente do pós-consumo e, desse total, 39,2% (190 kton) são perdidos ao longo da cadeia. A Tabela 2 mostra o volume de PET-PCR destinados a aterros no ano de 2017. Conforme pode ser observado, 168,3 kton são desviados já na geração do resíduo, representando cerca de 88,8% do total de PET destinado a aterros, mostrando a falta de conscientização da população quanto à disposição do seu lixo, sendo esse um dos maiores problemas da cadeia de reciclagem de plásticos.

Tabela 2 – Volume de PET-PCR destinado a aterro em 2017.

Etapa	Volume (kton)	%
Geração	168,3	88,8%
Coleta seletiva	0	0,0%
Cooperativas	4,8	2,5%
Reciclagem	12,5	6,6%
Transformação	4,0	2,1%
Total	189,5	100,0%

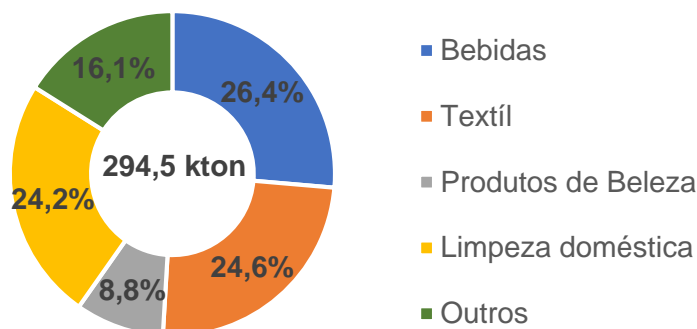
3.8. Mercado

O mercado é o elo da cadeia que representa todo material PET recuperado em forma de transformados plásticos – garrafas de refrigerante, cordas, tecidos, material escolar, cerdas de vassouras, frascos de detergente, entre outros. Em 2017, foram recuperados cerca de 294,5 kton de PET-PCR por meio da reciclagem mecânica.

Comparando esse valor com a geração de resíduo PET (484 kton) tem-se uma taxa de reciclagem de PET de 60,8%. Assim, o Brasil possui uma das maiores taxas de recuperação de PET no mundo.

Com a liberação da ANVISA para a produção do grau alimentício a partir de resíduo PET pós-consumo, a indústria de bebidas passou a utilizar largamente esse tipo de resina para a confecção de garrafas para bebidas não alcólicas. Analisando a Figura 16, a qual representa a segmentação de mercado para o PET-PCR no ano de 2017, tem-se que a maior parcela do mercado de PET-PCR (26%) é destinada para embalagens do setor alimentício. Em segundo lugar está o setor de têxteis (24,6%), seguido pelo setor de limpeza doméstica (24,2%). Apenas esses três setores são responsáveis por quase 75% do consumo de PET-PCR. O restante está dividido em produtos de beleza (8,8%) e as menores parcelas foram acumuladas em outros (16,1%).

Figura 16 – Segmentação de mercado de PET-PCR em 2017.



Fonte: MaxiQuim, 2018.

Na Tabela 3 tem-se as principais aplicações do PET-PCR em cada setor consumidor dessa resina. Além disso, pode-se observar os valores estimados para o consumo de cada segmento para o ano de 2017. Como citado anteriormente, o setor de bebidas é o líder no uso do PET-PCR, representando 77,7 kton, seguido pelo setor têxtil (72,4 kton).

Tabela 3 – Segmentação do mercado do PET-PCR em 2017 e as principais aplicações da resina dentro de cada segmento.

Segmento	Volume (kton)	Principais aplicações
Bebidas	77,7	Garrafas para bebidas
Têxtil	72,4	Fibras, cordas e filamentos de poliéster
Produtos de beleza	26,0	Embalagens e frascos
Limpeza doméstica	71,2	Frascos e cerdas de vassoura
Outros	47,3	Sinto e carpete de veículos, vedação, decks, embalagens de brinquedos, formas de ovos, bolos
Total	294,5	

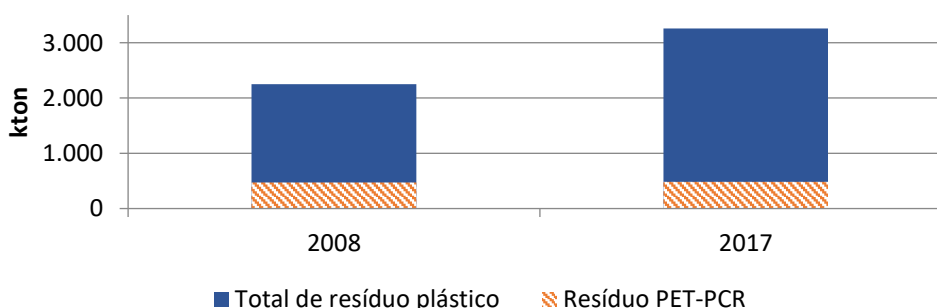
Fonte: MaxiQuim, 2018.

4. Comparação entre os anos de 2008-2017

Em 2017, a Resolução RDC nº 20 da ANVISA – a qual permite a fabricação de PET-PCR para fabricação do grau alimentício, completou 10 anos. Diante desse quadro, o presente trabalho propõe a comparação da cadeia de reciclagem do PET entre o ano de 2008 e 2017 para que sejam analisados os efeitos da referida regulamentação.

Primeiramente, a geração de resíduo plástico total no RSU em 2008 foi de 2.253 kton e em 2017 foram gerados 3.257 kton; assim, em 10 anos, houve aumento de 45% no volume de plásticos originados nos centros urbanos, podemos observar essa análise de forma ilustrativa na Figura 17 – onde compara-se a geração total de resíduo plástico e PET-PCR nos anos de 2007 e 2018. Porém, a geração de resíduo pós-consumo PET não seguiu o mesmo ritmo e cresceu 3% entre os anos comparados. Nesse contexto, em 2008, o resíduo pós-consumo de PET representava cerca de 21% do total de plásticos no RSU (470 kton). Em 2017, essa participação caiu para cerca de 15% (484 kton); desta forma, a geração de resíduo de PET aumentou 3% nos últimos 10 anos, apesar do setor de bebidas, principal consumidor de PET, ter apresentado crescimento de 12,1% no mesmo período. Um dos fatores que explica esse fenômeno é a redução no peso das embalagens, pois, com o surgimento de novas tecnologias, é possível fabricar embalagens mais leves sem a perda de suas propriedades. De fato, o peso das garrafas PET caiu em torno de 20% nos últimos 10 anos.

Figura 17 – Gráfico comparando a geração de resíduo plástico total e PET no RSU em 2008 e 2017.



Fonte: MaxiQuim, 2018.

De modo geral, a produção de resina reciclada aumentou no período de análise. Em 2008, o mercado de plástico reciclado no Brasil totalizou o valor de 455

kton, representando uma taxa de recuperação de 20,2%; em 2017 esse mercado expandiu cerca de 40%, sendo produzidos 634 kton. Entretanto, o volume de resíduo plástico gerado cresceu 45%, sendo superior ao avanço da produção de resina reciclada. Com isso, em 2017 a taxa de recuperação, de 19,5%, foi inferior à registrada a uma década atrás.

O consumo de resina virgem PET grau garrafa também não apresentou grandes variações ao se comparar os anos de 2008 e 2017. Analisando a Tabela 4, as maiores alterações ocorrem nas demandas por setor. O segmento de bebidas representava 90% do consumo total, em 2008, enquanto que em 2017 essa parcela caiu para 71%. Com novas aplicações para fabricação de embalagens alimentícias e de produtos de beleza, a utilização de PET virgem praticamente triplicou para esses segmentos, na mesma base de comparação. O consumo de resina virgem aumentou para o setor de limpeza doméstica, passando de 7 para 17 kton.

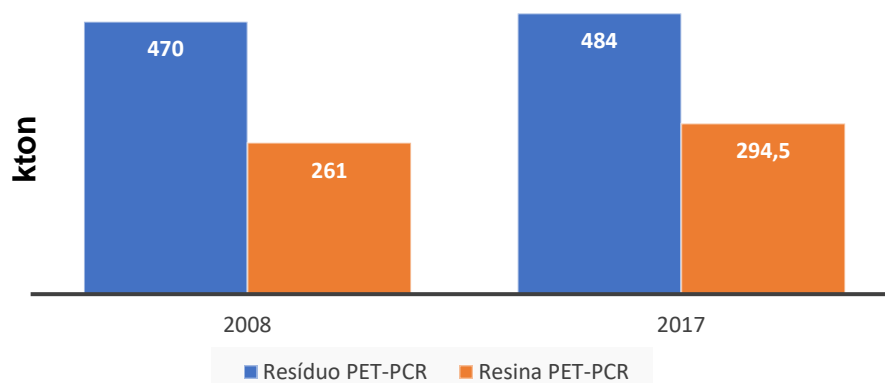
Tabela 4 - Segmentação do mercado de PET virgem nos anos de 2008 e 2017.

Segmento	2008 (kton)		2017 (kton)	
Bebidas	420	90,1%	332	90,1%
Alimentos	30	6,4%	89	6,4%
Produtos de beleza	9	1,9%	26	1,9%
Limpeza doméstica	7	1,5%	17	1,5%
Outros	0	0,0%	2	0,0%
Total	466	100%	466	100%

Fonte: MaxiQuim, 2018.

Como constatado na Figura 16, o mercado de PET-PCR totalizou 294,5 kton em 2017, representando um incremento de 12,8% em relação ao ano de 2008, quando a produção dessa resina foi de 261 kton. Comparando esse volume com o de resíduo PET gerado em 2008 (470 kton), houve uma taxa de reciclagem de 55,5%. Em comparação com o consumo de resina virgem (466 kton), no ano de 2008 a produção de PET reciclado representava 56%. Com o aumento pela busca de materiais reciclados, essa proporção cresceu para 63,2% em 2017.

Figura 18 – Gráfico comparando a geração de resíduo PET e a produção de resina PET-PCR nos anos de 2008 e 2017.



Fonte: MaxiQuim, 2018.

Além disso, a segmentação do mercado da resina reciclada sofreu alterações nesse período. Em 2008, o setor têxtil era responsável pelo consumo de cerca de 40% do PET-PCR e, em 2017, a sua participação caiu para 25%. Segundo a ABIPET, em 2008, o setor de embalagens alimentícias correspondia a 12% do consumo de PET-PCR. Cabe ressaltar que a resina reciclada naquela época podia ser utilizada nesse tipo de embalagem, desde que não entrasse em contato direto com o alimento. Segundo dados da MaxiQuim, o processo de injeção a sobro – utilizado para a produção de garrafas para bebidas carbonatadas – representava cerca de 3% do mercado de PET-PCR. Atualmente, o setor de bebidas é o que possui maior demanda por PET reciclado, em 2017 correspondia a 26% do consumo dessa resina.

5. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo a análise da cadeia de reciclagem do PET pós-consumo e a comparação desse mercado entre o ano de 2008 e 2017, com intuito de encontrar empecilhos nessa cadeia e averiguar os impactos gerados pela autorização da produção do PET-PCR grau alimentício.

As maiores perdas na cadeia de reciclagem do PET estão na etapa de geração, representando 88% do volume de PET destinado a aterros. Para reverter esse quadro, deve-se investir em políticas e campanhas de conscientização para a importância da separação e destinação correta de resíduos, para que a população passe a enxergar o seu lixo não como algo a ser descartado, mas sim, como matéria-prima de valor para um segmento da economia. Alguns países investem em um sistema de recompensa, no qual é possível trocar o resíduo por dinheiro ou descontos em serviços ou em produtos. Também, cabe aos órgãos responsáveis a fiscalização mais rigorosa do resíduo gerado nos centros urbanos. A PNRS prevê multas e penalidades para pessoas que descartam erroneamente o seu lixo. Além disso, cabe ao poder municipal a implantação da coleta seletiva, para que o resíduo possa ser coletado e destinado aos centros de reciclagem.

Ademais, a destinação de todo o resíduo plástico para aterros é uma alternativa economicamente inviável, pois desvia da cadeia de reciclagem grande quantidade de matéria-prima. Uma alternativa é a instalação de esteiras de triagem mecanizadas – que utilizam leitores a laser para identificar os materiais – para selecionar os materiais destinados aos aterros e, com isso, seria possível recuperar grande quantidade de material reciclável. Também, pode-se lançar mão da reciclagem energética para materiais não coletados na etapa anterior. Como o plástico possui alto poder calorífico, pode ser queimado em fornos específicos para a geração de energia elétrica. Então, realizando o tratamento adequado dos gases, esse tipo de reciclagem mostra-se uma melhor opção do que a destinação a aterros.

O restante das perdas na cadeia de reciclagem ocorre, praticamente, nas cooperativas e recicladoras, sendo que juntas representam cerca de 9,1% das perdas. Isso deve-se, basicamente, a problemas na triagem dos resíduos, pois esse processo ainda é realizado manualmente e depende da atenção e conhecimento do trabalhador. Dessa forma, muitos materiais são encaminhados para as recicladoras com contaminantes, sendo necessário descartá-los. O ideal seria substituir a triagem

manual por uma triagem mecanizada, de forma a aumentar a eficiência desse processo e aumentar a qualidade do material comercializado pelas cooperativas. Deve-se incentivar a população a lavar as embalagens após o seu uso, evitando-se o mau cheiro e a proliferação de pragas nos resíduos que chegam nas cooperativas.

Outro empecilho encontrado nesse elo da cadeia foi o baixo nível de profissionalização; para melhorar isso, deve-se investir em treinamento e capacitação para os trabalhadores das cooperativas, tanto na área operacional como na área administrativa. Assim, as cooperativas podem ganhar vantagens comerciais frente aos atravessadores, podendo, quem sabe, eliminar alguns *players* externos a cadeia.

Mesmo ocorrendo perdas de 39% na cadeia de reciclagem do PET, historicamente, as taxas de reciclagem desse polímero são superiores aos outros plásticos. Comparando os anos de 2008 e 2017, as taxas de reciclagem de PET aumentaram de 55,5% para 60,8%, enquanto que a reciclagem média dos plásticos retraiu de 20,2% para 19,5%. Isso demonstra que o mercado de reciclados plásticos não conseguiu crescer no mesmo ritmo que a geração de resíduos. Na contramão desse cenário encontra-se o PET, cujo crescimento do mercado conseguiu exceder o avanço da geração de resíduo.

Uma das causas para isso foi o desenvolvimento de novas tecnologias para a fabricação de embalagens mais leves, proporcionando a redução em média de 20% no peso de garrafas para bebidas em uma década. Em um comparativo entre os anos de 2008 e 2017, o mercado de bebidas apresentou avanço de 12,1%. Enquanto o mercado de PET virgem grau garrafa utilizado pelo setor de bebidas apresentou uma retração maior; em 2008, esse volume era de 332 kton e diminuiu para 420 kton em 2017, representando um decréscimo de 26,5%. Essa lacuna foi preenchida com uso de PET-PCR grau alimentício e representou um volume de 77,7 kton em 2017.

Em 2008, a maior parcela de PET reciclado era destinada para o setor têxtil, e a participação do setor de bebidas era praticamente nula. Com a autorização para a produção de PET-PCR grau alimentício, o panorama desse mercado mudou e, uma década mais tarde, o principal consumidor de PET tornou-se o setor de bebidas, deixando de utilizar a matéria-prima virgem e migrando para o uso de material reciclado.

A tendência para os próximos anos é que investimentos na área PET-PCR grau alimentício aumentem, já que as grandes companhias do setor de bebidas anunciaram, recentemente, metas para incorporar mais material reciclado em suas embalagens. Assim, o PET-PCR grau alimentício tornou-se uma alternativa de matéria-prima mais barata e de alta qualidade para esse setor. Além disso, a utilização de plástico reciclado auxilia para que as empresas tracem metas sustentáveis e as embalagens descartáveis tornam-se bem vistas pelo consumidor.

A implantação dessa nova tecnologia para a produção do PET grau alimentício colaborou para o avanço superior da taxa de reciclagem desse material frente à geração de resíduo. Além disto, destaca-se o avanço do consumo de PET reciclado por parte do setor de bebidas e investimento na produção do PET grau alimentício, auxiliando para o crescimento da taxa de recuperação do PET.

Referências

ABIPET, **5º Censo de Reciclagem de PET do Brasil**, 2010. Disponível em: <<http://www.abipet.org.br/index.html?method=mostrarDownloads&categoria.id=3>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 6., agosto 2010, Niterói, **A embalagem PET e a reciclagem: uma visão econômica sustentável para o planeta**.

CONKE, L. S.; NASCIMENTO, E. P.. **A coleta seletiva nas pesquisas brasileiras: uma avaliação metodológica**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 10, n. 1, p. 199-212, 2018. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/urbe/v10n1/2175-3369-urbe-10-1-199.pdf>> Acesso em: 04 jun. 2018.

Cruz, S. A. et al. Polímeros reciclados para contato com alimentos. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 21, p. 340-345, 2011.

ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVII., 2007, Foz do Iguaçu, **A embalagem PET e a reciclagem: uma visão econômica sustentável para o planeta**. Foz do Iguaçu: UTFPR, 2007.

FONSECA, T. G.; ALMEIDA, Y. M.; VINHAS, G. M. **Reciclagem química do PET pós-consumo: caracterização estrutural do ácido tereftálico e efeito da hidrólise alcalina em baixa temperatura**. Polímeros, São Carlos, v. 24, n. 5, p. 567-571, 2014. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v24n5/03.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

FORMIGONI, A. **Reciclagem de PET no Brasil**. Dissertação (Mestrado), Universidade Paulista (UNESP), São Paulo, 2007, 70 p.

FREIRE, M. et al. **Contaminantes voláteis provenientes de embalagens plásticas: desenvolvimento e validação de métodos analíticos**. Quím. Nova, São Paulo, v. 31, n. 6, p. 1522-1532, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v31n6/a43v31n6.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

MAXIQUIM – CONSULTORES E ASSOCIADOS, **Projetos Single-client**. Porto Alegre, 2018.

Mazzuco, M. **Estabelecer processos de identificação e separação de plásticos para a indústria de reutilização e reciclagem**. Trabalho de Conclusão de Curso de

Química, UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (UFSC), Florianópolis, 2008, 40 p.

ROMAO, W.; SPINACE, M. A. S.; PAOLI, M. De. **Poli (tereftalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem.** Polímeros, São Carlos, v. 19, n. 2, p. 121-132, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/po/v19n2/v19n2a09.pdf>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

SPINACÉ, M.; DE PAOLI, M. **A Tecnologia da Reciclagem de Polímeros.** Quím. Nova, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v28n1/23041>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

UDA, Marcos Junitsi. **Logística Reversa da Reciclagem de Garrafas PET em Curitiba.** Dissertação (Mestrado), Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), Curitiba, 2010, 93 p.

WELLE, F. **Twenty years of PET bottle to bottle recycling – An overview.** Resources, Conservation and Recycling, Freising, Germany, v. 55, n.11, p. 865-875, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911000656>>. Acesso em: 04 jun. 2018.