



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**Centro Acadêmico do Agreste**  
**Núcleo de Formação Docente**  
**Curso de Química - Licenciatura**



**ABORDAGEM DE POLÍMEROS NO CURSO DE QUÍMICA –  
LICENCIATURA UTILIZANDO A APRENDIZAGEM COLABORATIVA:  
MÉTODO JIGSAW**

**Jeice Marques Dos Santos**

**CARUARU**  
**2016**

**JEICE MARQUES DOS SANTOS**

**ABORDAGEM DE POLÍMEROS NO CURSO DE QUÍMICA –  
LICENCIATURA UTILIZANDO A APRENDIZAGEM COLABORATIVA:  
MÉTODO JIGSAW**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Química - Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Licenciado em Química.

**Orientador: Prof. Dr. Ricardo Lima Guimarães**

**CARUARU  
2016**

Catálogo na fonte:  
Bibliotecária – Paula Rejane da Silva CRB/4-1223

S237a Santos, Jeice Marques dos.  
Abordagem de polímeros no curso de química-licenciatura utilizando a aprendizagem colaborativa: método Jigsaw. / Jeice Marques dos Santos. - 2016.  
107f. il. ; 30 cm.

Orientador: Profº Dº Ricardo Lima Guimarães.  
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Química-Licenciatura, 2016.  
Inclui Referências.

1. Aprendizagem. 2. Ensino de química. 3. Método de ensino. 4. Licenciatura – Formação de docentes I. Guimarães, Ricardo Lima. (Orientador). II. Título.

371.12 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-023)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
Centro Acadêmico do Agreste  
Núcleo de Formação Docente  
Curso de Química - Licenciatura



“Abordagem de polímeros no curso de química – licenciatura utilizando a aprendizagem colaborativa: método Jigsaw”

## **JEICE MARQUES DOS SANTOS**

Monografia submetida ao Corpo Docente do Curso de Química – Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco e **aprovada** em 19 de janeiro de 2016.

### **Banca Examinadora:**

Prof. Dr. Ricardo Lima Guimarães (CAA – UFPE)  
(Orientador)

Profa. Dra. Gilmara Gonzaga Pedrosa (CAA – UFPE)  
(Examinadora 1)

Prof. Me. Fábio Adriano Santos da Silva (IQB – UFAL)  
(Examinador 2)

*“Se tentares viver de amor,  
perceberás que, aqui na terra,  
convém fazeres a tua parte.  
A outra, não sabes nunca se virá,  
e não é necessário que venha. Por  
vezes, ficarás desiludido, porém  
jamais perderás a coragem, se te  
convenceres de que, no amor, o  
**que vale é amar.**”*

Chiara Lubich

## DEDICATÓRIA

Dedico esse Trabalho de Conclusão de Curso a minha mãe, ***Maria do Rosário***, que apesar de toda a saudade que sentiu, pelas diversas vezes que deixei de ir para casa para poder ficar em Caruaru estudando, me apoiou e compreendeu minha ausência e nunca me deixou desistir do curso, apesar das dificuldades, fazendo todos os esforços possíveis para realizar meus sonhos.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado força, saúde e perseverança para continuar o curso, acredito fielmente em sua existência, sempre o senti ao meu lado e vi sua resposta as minhas preces.

Em especial a minha mãe e minha avó que considero meu alicerce desde que nasci, Maria do Rosário e Luzia Maria, meu pai Pedro Alves, minha irmã Jessica Marques, meus irmãos caçulas, Gilson Marques e Gianna Marques, e meu sobrinho Arthur.

Minhas tias Expedita e Odete, minha prima Elizangela e demais familiares.

Ao meu namorado, Thiago Onofre, pelo amor, carinho, compreensão e companheirismo. Por ter me ajudado a acreditar em meu potencial, acreditou que eu era capaz de chegar até aqui, pela paciência e por todos os momentos felizes que me proporcionou.

A minha amiga, Havyla Tamily, que apesar da distância, suas palavras sempre me confortaram, sei que nossa amizade nunca acabará.

A minha amiga, Pamela Ranielle, que sempre me motivou e me ouviu, pelas palavras de ânimo, sei que sempre existirá a amizade que construímos entre nós.

As minhas amigas, Cleiça, Elaine, Carla, Fabiana, Rúbia, Karen e Kamila, obrigada pelos bons momentos, pelo apoio e por terem me ajudado em minhas dificuldades, a ida para UFPE ficava mais leve pela companhia de vocês.

A Emérsom, que sempre me ajudou e me incentivou. Ao “grupo dos meninos” de nossa eterna turma 2011.1, Renan, Emmanuel, Victor, Marcos, Jainaldo e Bruno, fizeram e fazem a alegria de nossa turma, tenho um carinho enorme por vocês.

Ao meu orientador, Ricardo Lima Guimarães, que esteve presente em minha graduação desde o início, pelo incentivo e motivação, pela paciência, por tirar todas as minhas dúvidas, ter me aceitado em seu projeto de pesquisa e por ter acreditado em meu potencial e por toda a contribuição para o desenvolvimento deste trabalho, sou muito grata.

Ao corpo docente do curso, Ayrton dos Anjos, Fábio Silva, Ana Paula Souza, Regina Célia, Juliana Angeiras, Gilmara Pedrosa, Jane Laranjeiras, e ao professor Roberto Araújo Sá por ter disponibilizado sua disciplina para aplicação desta pesquisa. Agradeço a todos pelos ensinamentos e contribuições para meu desenvolvimento pessoal e acadêmico.

Agradeço a professora Kátia Aquino, a qual tenho uma enorme admiração e carinho.

E por fim, agradeço a todos que participaram da minha formação acadêmica.

## RESUMO

Polímeros são macromoléculas formadas por unidades de repetição conhecidas como monômeros e apresentam diversas propriedades. Alguns apresentam em suas propriedades a maleabilidade, ou seja, a capacidade de serem moldáveis, bem como resistência mecânica e térmica. Sabe-se que materiais plásticos podem ser utilizados para tudo, ou quase tudo, sendo comercializados em uma grande variedade de formas: fibras, filmes e folhas, espumas, etc. Contudo, percebe-se que poucas pessoas conhecem suas características químicas, bem como os modos corretos de descarte desses materiais poliméricos, sendo que muitos podem ser destinados à reciclagem. Dessa forma, pensando na formação dos futuros profissionais que estão concluindo a graduação, esta pesquisa foi aplicada a uma turma do curso superior de Química-Licenciatura, do Campus Acadêmico do Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, e teve como objetivo investigar o conhecimento dos alunos da disciplina de Educação Ambiental quanto aos conceitos, usos e tratamentos dos polímeros, em especial quanto à reciclagem, através de uma intervenção didática utilizando o método de Aprendizagem Colaborativa no formato Jigsaw. Esse método (Jigsaw) consiste em uma atividade realizada em três momentos distintos. O primeiro desses momentos é a separação dos alunos em pequenos grupos base com temas centrais (referentes aos diferentes tipos de polímeros, como polietileno, polipropileno, etc.). Posteriormente, há a divisão desses grupos base em grupos de especialistas (conceitos gerais, usos e tratamentos) de cada tema central. Após esse momento de discussão, os alunos retornam ao seu grupo base com o dever de compartilhar o conteúdo que foi aprendido nos grupos de especialistas para o seu grupo base inicial. Ao fim, todos os alunos aprenderam o conteúdo proposto, onde foram utilizados questionários/tabelas para os grupos base e de especialistas, e a partir desses materiais foram feitas as análises do método. A atividade foi realizada em 4 horas/aulas, com a participação de média de 15 alunos em cada momento do método. Após a aplicação da atividade, o objetivo geral foi alcançado e os resultados mostraram que é possível utilizar esse tipo de aprendizagem colaborativa no Ensino Superior, uma vez que se percebeu que os alunos, ao fim da atividade, demonstraram um domínio do conteúdo estudado.

**Palavras-chave:** Aprendizagem colaborativa. Método Jigsaw. Polímeros.

## ABSTRACT

Polymers are macromolecules formed by repeating units known as monomers and they have different properties. Some polymers have as one of their properties, flexibility, i.e., the ability for them to be moldable as well as physical and thermal resistance. It is known that plastics can be used for all, or nearly all, and are commercialized in a large variety of shapes: fibers, films and sheets, foams, etc. However, it is clear that few people know its chemical characteristics and the correct ways of disposing of these polymeric materials, and many of them can be sent for recycling. Thus, thinking about the formation of future teachers, this research was applied in a class of Chemistry course of the Centro Acadêmico do Agreste of the Federal University of Pernambuco. It aimed to investigate the knowledge of the students of environmental education course about the concepts, uses and treatments of polymers, in particular with regard to recycling, through an educational intervention using the Collaborative Learning method in the Jigsaw format. This method (Jigsaw) consists of an activity carried out in three distinct phases. The first of these moments is the separation of the students in small base groups involving central themes (relating to different types of polymers such as polyethylene, polypropylene, etc.). Subsequently, there is the division of these base groups on specialist groups (general concepts, uses and treatments) of each central theme. After this moment of discussion, the students return to their base group with a duty to pass the content that has been learned in specialist groups for their original base group. At the end, all students learned the proposed content, where they were used questionnaires/tables for the base groups and specialists, and from these materials were made the analysis of the method. The activity was carried out in 4 hours/lessons, with the average participation of 15 students in each moment of the method. After application of the activity, the overall goal has been achieved and the results showed that it is possible to use this type of collaborative learning in higher education, since it was realized that the students at the end of the activity, showed a mastery of studied content.

**Keywords:** Chemical education. Collaborative learning. Polymers.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Demonstração de um processo de síntese de polímero.....	19
<b>Figura 2.</b> Estrutura da hemoglobina (esquerda) e grupo heme (direita).....	22
<b>Figura 3.</b> (a) Látex extraída da árvore da seringueira; (b) estrutura de repetição do isopreno formando o poliisopreno (borracha natural); (c) estrutura tridimensional da borracha natural. ....	22
<b>Figura 4.</b> Estrutura da celulose: unidades de repetição da $\beta$ -glicose (ligações glicosídicas $\beta 1 \rightarrow 4$ ).....	23
<b>Figura 5.</b> Classificação dos polímeros.....	24
<b>Figura 6.</b> Código de reciclagem encontrados em embalagens plásticas.....	25
<b>Figura 7.</b> Estrutura molecular do PEAD.....	27
<b>Figura 8.</b> Reação para a formação do PVC. ....	28
<b>Figura 9.</b> Estrutura molecular do PEBD.....	29
<b>Figura 10.</b> Reação para a formação do Polipropileno (PP). ....	30
<b>Figura 11.</b> Reação para a formação do Poliestireno. ....	31
<b>Figura 12.</b> Esquemática da atividade utilizando o método Jigsaw. ....	41

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Representação dos grupos de base e divisão dos especialistas na atividade.	41
<b>Tabela 2.</b> Divisão dos especialistas. ....	42
<b>Tabela 3.</b> Falas dos alunos. ....	44
<b>Tabela 4.</b> Falas dos alunos. ....	45
<b>Tabela 5.</b> Discursos dos alunos. ....	57
<b>Tabela 6.</b> Falas dos alunos. ....	58
<b>Tabela 7.</b> Diferença entre polímeros natural e sintético. ....	59
<b>Tabela 8.</b> Justificativas dos alunos para a questão 5. ....	62

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1.</b> Conhecem o que são polímeros. ....	43
<b>Gráfico 2.</b> Principais categorizações feitas a partir das respostas dos discentes. ....	44
<b>Gráfico 3.</b> Classificação dos polímeros segundo os alunos. ....	45
<b>Gráfico 4.</b> Materiais poliméricos. ....	46
<b>Gráfico 5.</b> Percepção dos alunos quanto à possibilidade de reciclagem dos polímeros. ....	47
<b>Gráfico 6.</b> Categorizações feitas a partir das respostas dos discentes. ....	47
<b>Gráfico 7.</b> Concepção dos alunos acerca das propriedades dos polímeros. ....	52
<b>Gráfico 8.</b> Se os polímeros estudados apresentam mesma forma de tratamento. ....	53
<b>Gráfico 9.</b> Principais categorizações. ....	57
<b>Gráfico 10.</b> Categorização quanto a diferença entre polímero natural e polímero sintético. ....	59
<b>Gráfico 11.</b> Materiais poliméricos. ....	60
<b>Gráfico 12.</b> Percepção dos alunos quanto a possibilidade de reciclagem dos polímeros. ....	61
<b>Gráfico 13.</b> Categorizações feitas a partir das respostas dos discentes. ....	61
<b>Gráfico 14.</b> Relação nome do polímero x acrônimo. ....	63

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Processamento e aplicações do PEAD.....	27
<b>Quadro 2.</b> Principais seguimentos de aplicações do PVC.....	28
<b>Quadro 3.</b> Descrição e aplicações dos grupos de produtos do polipropileno.....	30
<b>Quadro 4.</b> Tipos de Poliestireno e suas características.....	32
<b>Quadro 5.</b> Categorias de reciclagem de plásticos.....	33
<b>Quadro 6.</b> Etapas do processo de reciclagem mecânica.....	34
<b>Quadro 7.</b> Processos usados na Reciclagem Química.....	34
<b>Quadro 8.</b> Descrição sucinta dos métodos baseados na aprendizagem colaborativa. ...	38
<b>Quadro 9.</b> Informações importantes destacadas pelos discentes.....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PET – Poli (tereftalato de etileno)

PEAD – Polietileno de Alta densidade

PVC – Poli (cloreto de vinila)

PEBD – Polietileno de baixa densidade

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

GBP – Grupo base de Polímeros

GBP1 (PET) – Grupo base de Polímeros PET

GBP2 (PEAD) – Grupo base de Polímeros PEAD

GBP3 (PVC) – Grupo base de Polímeros PVC

GBP4 (PEBD) – Grupo base de Polímeros PEBD

GBP5 (PP) – Grupo base de Polímeros PP

GBP6 (PS) – Grupo base de Polímeros OS

An – Identificação dos alunos (*n* será um número aleatório, apenas para identificar determinada fala).

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>18</b>
<b>2.1. Objetivo Geral</b> .....	<b>18</b>
<b>2.2. Objetivos Específicos</b> .....	<b>18</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1. O que é um polímero?</b> .....	<b>19</b>
<b>3.2. Uma breve história</b> .....	<b>20</b>
<b>3.3. Classificação de polímeros</b> .....	<b>21</b>
3.3.1. Polímeros Naturais .....	21
3.3.2. Polímeros Sintéticos .....	23
<b>3.4. Polímeros mais utilizados no dia-a-dia: conceitos, usos e tratamento.</b> .....	<b>25</b>
3.4.1. Poli (tereftalato de etileno) – PET .....	26
3.4.2. Polietileno de Alta densidade – PEAD.....	27
3.4.3. Poli (cloreto de vinila) – PVC .....	28
3.4.4. Polietileno de baixa densidade – PEBD .....	29
3.4.5. Polipropileno – PP .....	30
3.4.6. Poliestireno – PS.....	31
3.4.7. Reciclagem de Plásticos .....	33
<b>3.5. Aprendizagem Colaborativa</b> .....	<b>36</b>
3.5.1. Aprendizagem colaborativa: Método de Aprendizagem Jigsaw .....	37
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	<b>40</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>43</b>
<b>5.1. Conhecendo as concepções iniciais dos alunos: Análise do pré-teste</b> .....	<b>43</b>
<b>5.2. Análise do Método de Aprendizagem Jigsaw</b> .....	<b>48</b>
<b>5.3. Verificando as concepções finais dos alunos: Análise do pós-teste</b> .....	<b>56</b>
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>64</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>66</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>70</b>
<b>APÊNDICE A – Questionário 1</b> .....	<b>70</b>
<b>APÊNDICE B – Questionário 2</b> .....	<b>71</b>
<b>APÊNDICE C – Questionário 3</b> .....	<b>72</b>
<b>APÊNDICE D – Questionário 4</b> .....	<b>73</b>
<b>APÊNDICE E – Questionário 5</b> .....	<b>74</b>
<b>APÊNDICE F – Questionário 6</b> .....	<b>75</b>
<b>APÊNDICE G – Questionário 7</b> .....	<b>76</b>
<b>APÊNDICE H – Resumo dos polímeros estudados</b> .....	<b>77</b>
<b>APÊNDICE I – Polietileno de baixa densidade (PEBD)</b> .....	<b>78</b>
<b>APÊNDICE J – Poli (cloreto de vinila) (PVC)</b> .....	<b>82</b>
<b>APÊNDICE K – Polietileno de alta densidade (PEAD)</b> .....	<b>88</b>
<b>APÊNDICE L – Polipropileno (PP)</b> .....	<b>91</b>

<b>APÊNDICE M – Poliestireno (PS) .....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO A – Poli (tereftalato de etileno) (PET) .....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXO B – A tecnologia da reciclagem de polímeros.....</b>	<b>101</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Alguns autores como Ferreira e cols (2007), Silva (2003) e Franchetti (2003) trazem em suas concepções que no futuro essa era que estamos vivenciando poderá ser considerada como a “era do plástico”, uma vez que esse material está presente em tudo (ou em quase tudo) que usamos no nosso dia-a-dia. Mas será que todos que fazem uso deste material sabem como descartá-los de modo correto? Os polímeros estão sendo constantemente estudados, uma vez que se tenta descobrir/sintetizar novos tipos de materiais poliméricos a todo momento. Contudo, são poucos os que se preocupam em estudar, e conscientizar, sobre a forma correta do descarte desses materiais poliméricos, quando não são mais necessários, ou até mesmo a utilização de outros materiais como os “plásticos reciclados”.

Mesmo se tratando do Ensino Superior, percebe-se que ainda são utilizados métodos de ensino/aprendizado tradicionais, e pouco se vê em universidades professores utilizarem estratégias e metodologias diferenciadas para os alunos. Neste sentido, estratégias didáticas de caráter colaborativo surgem como uma alternativa de auxiliar no alcance da aprendizagem na educação superior, tornando o aluno parte mais ativa do processo de ensino. Nessa perspectiva, uma alternativa proposta para o ensino/aprendizagem que delinea a formação de cidadãos plenos se fundamenta na interação social efetiva entre aluno-aluno, assim como na relação professor-aluno. Consideramos, dessa forma, que o método de aprendizagem colaborativa possa reestruturar o processo de ensino/aprendizagem, isto é, lançar um olhar para o desenvolvimento do aluno a partir de seu comportamento como protagonista da construção do conhecimento em sala de aula (SILVA e SOARES, 2013). Para tal, vamos adaptar o conteúdo de Polímeros ao método de aprendizagem colaborativa Jigsaw.

Acredita-se que os alunos não têm conhecimento sobre os diversos tipos de polímeros e nem as suas formas de tratamento após seus usos, bem como não devem observar problemas em descartar plásticos no lixo comum e muito menos que alguns tipos de plásticos podem ser reciclados. Em função destas observações, neste trabalho, investigamos o conhecimento dos alunos da disciplina de Educação Ambiental quanto aos conceitos sobre polímeros, seu uso e os principais processos de descarte, em especial,

quanto à reciclagem, através de uma intervenção didática: método de Aprendizagem colaborativa no formato Jigsaw.

Acredita-se que essa pesquisa seja importante pois trará uma contribuição e conscientização para os estudantes da disciplina de Educação Ambiental do curso de Química-Licenciatura do Centro Acadêmico do Agreste quanto ao uso dos polímeros e seus processos de descarte (reciclagem), uma vez que a poluição e problemas ambientais, que são atribuídos aos plásticos, não são devidos apenas à sua toxidez e sim à durabilidade desses materiais no meio ambiente.

Nas seções posteriores será apresentado uma abordagem sobre o que são polímeros, suas classificações básicas, bem como os polímeros mais utilizados em nosso país e para um embasamento teórico educativo, fez uma breve abordagem sobre a aprendizagem colaborativa e sobre o método utilizado para o desenvolver da intervenção didática realizada, aprendizagem colaborativa no formato Jigsaw. Em seguida faz-se a apresentação e discussão dos resultados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Investigar o conhecimento dos alunos da disciplina de Educação Ambiental quanto aos conceitos, uso e processos de descarte (reciclagem) dos polímeros, através de uma intervenção didática utilizando o método de Aprendizagem Jigsaw.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Observar se os alunos já apresentavam conceitos prévios sobre o tema a eles apresentados;
- Abordar os conceitos básicos da química de polímeros e familiarizá-los aos códigos de reciclagem;
- Propor uma discussão quanto ao descarte e reutilização dos principais polímeros usados no dia-a-dia;
- Contribuir para que os alunos reconheçam e diferenciem aspectos e propriedades dos polímeros mais empregados.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

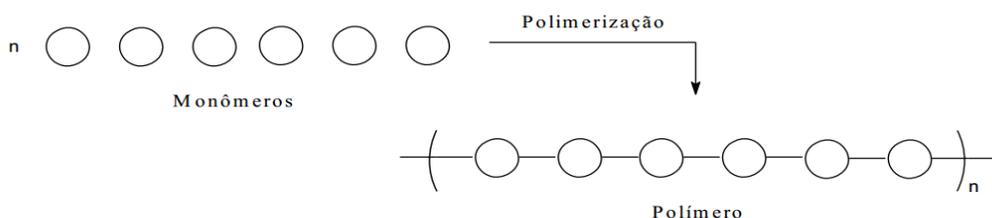
#### 3.1. O que é um polímero?

Atualmente o termo polímero é mais conhecido associado ao **plástico**, que é um nome derivado da deformabilidade associada à fabricação da maioria dos produtos poliméricos. Para alguns críticos, *plástico* é um sinônimo da cultura moderna, resultando do avanço tecnológico que se deu no último século. Polímeros, estão disponíveis em uma grande variedade de formas comerciais: fibras, filmes e folhas finos, espumas e em corpos volumosos. (SCHACKELFORD, 2008)

Um polímero é uma substância composta de macromoléculas, ou seja, moléculas que contém um número muito grande de átomos e alto peso molecular (CAREY, 2011). Essas macromoléculas são formadas pela repetição de unidades químicas – os monômeros – ligados entre si por ligações covalentes do tipo  $sp^2$  e  $sp^3$  (FERREIRA e cols, 2007). De acordo com a quantidade de espécies diferentes desse monômero, são classificados como homopolímero (apenas uma espécie de monômero) ou copolímero (diferentes espécies de monômeros), unidos covalentemente para formar as macromoléculas que são os polímeros. Este tipo de ligação favorece uma grande estabilidade físico-química, formando longas cadeias e, portanto, resultando em compostos de alta massa molecular (SILVA, 2003).

“A polimerização é o nome dado ao processo no qual as várias unidades de repetição (monômeros) reagem para gerar uma cadeia de polímero” (RODRIGUES, 2012, p. 23). Na Figura 1 a seguir está demonstrado um processo de síntese do polímero.

**Figura 1.** Demonstração de um processo de síntese de polímero.



Fonte: RODRIGUES, 2012, p. 23.

### 3.2. Uma breve história

Na busca por novos meios para facilitar a sobrevivência e até mesmo o conforto de vida, o homem desenvolveu métodos para que tais objetivos e desejos fossem alcançados. Pensando nisso, os materiais poliméricos revolucionaram o desenvolvimento tecnológico do século XX e passaram a ser estudados com maior interesse por parte dos cientistas.

Uma matéria publicada em 1998 pela revista *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, com autoria de H. Morawetz (1985) *apud* Elias Hage Jr., traz que:

O termo *polímero* foi criado pelo famoso químico alemão J. Berzelius em 1832. Na realidade Berzelius tentou criar um termo para diferenciar moléculas orgânicas que possuíam os mesmos elementos químicos, mas não necessariamente as mesmas propriedades químicas, como por exemplo, os gases etileno e buteno. Inicialmente estas moléculas foram chamadas de *isoméricas* e posteriormente Berzelius esclareceu que as moléculas de buteno, possuindo 4 átomos de carbono e 8 átomos de hidrogênio, seriam o *estado polimérico* das moléculas de etileno, que em sua opinião possuíam 1 átomo de carbono e 2 átomos de hidrogênio. Assim, o termo polímero foi utilizado para representar as moléculas de buteno como sendo constituídas de muitas (poli) unidades (meros) de etileno (MORAWETZ *apud* HAGE JR., 1998, p.6).

Segundo o autor, “o termo polímero só veio a ser usado como é conhecido hoje após 1922” (MORAWETZ *apud* HAGE JR., 1998, p.6). Inicialmente, os primeiros experimentos realizados foram com polímeros naturais, tais como: borracha natural, amido, celulose e proteínas. Por conta de suas características elásticas, a borracha natural foi a mais estudada.

Ferreira *et al* (2007) e Carey (2011), trazem que o grande marco para a indústria polimérica ocorreu em 1839 por Charles Goodyear, que ao estudar a borracha natural desenvolveu o processo de vulcanização, transformando a borracha natural, que é quebradiça quando está fria e pegajosa quando está quente, em uma substância que mantém sua elasticidade em um intervalo de temperatura mais amplo, aquecendo-a com enxofre.

O primeiro material polimérico puramente sintético foi desenvolvido apenas em 1907 por Lord Baekeland, a resina fenol-formaldeído conhecida popularmente como resina fenólica e comercialmente como resina Bakelite, em homenagem a seu inventor.

Os estudos específicos sobre os polímeros ocorreram apenas em torno dos anos 1920, pelo pesquisador Hermann Staudinger, professor de química orgânica do Instituto

Federal de Tecnologia (ETH) em Zurique (MORAWETZ *apud* HAGE JR., 1998). Os estudos realizados por Staudinger sobre polímeros só passaram a ser reconhecidos após receber o prêmio Nobel de Química em 1953.

### 3.3. Classificação de polímeros

Pode-se classificá-los, quanto à sua natureza, como: polímeros naturais e polímeros sintéticos. Outras classificações podem ser atribuídas às suas propriedades, como é o caso dos polímeros termoplásticos (que se tornam menos rígidos quando aquecidos) e os termofixos (tornam-se mais rígidos com o aquecimento), em relação à resposta à variação da temperatura. (SHACKELFORD, 2008)

Existem inúmeras formas de classificar os polímeros, nos mais variados aspectos, contudo, neste trabalho, será feito um tratamento apenas com relação à natureza de sua obtenção.

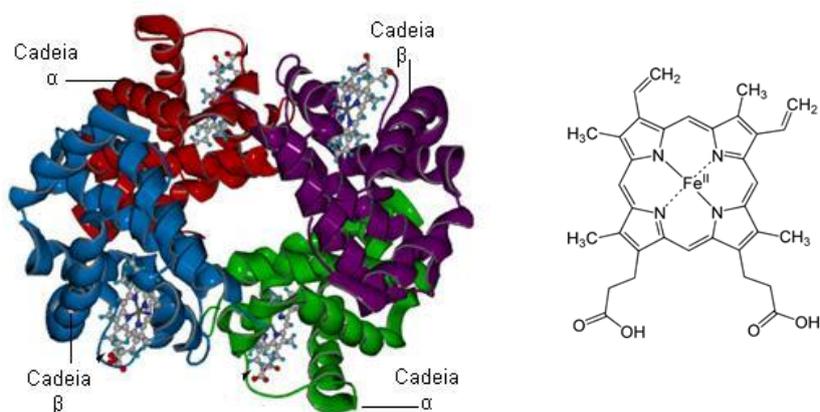
#### 3.3.1. Polímeros Naturais

Os polímeros naturais estão ao nosso redor desde sempre. Muito antes de termos uma noção e/ou conhecimento sobre essas macromoléculas elas já existiam a nossa volta, embora não possamos vê-las. Polímeros naturais são moléculas de grande peso molecular encontradas na natureza. Em sua grande maioria de origem orgânica, sendo parte da estrutura de algum ser vivo, seja uma planta, bactéria ou animal superior (DIAS, 2004).

Como exemplos desses polímeros que estão presentes em nosso organismo, podemos citar as proteínas, o DNA, os polissacarídeos (WAN *et al*, 2001). A celulose, a seda, fibras de algodão e as borrachas naturais aparecem como outros representantes dos polímeros naturais. A origem destas macromoléculas é o próprio metabolismo vegetal e animal, um complexo conjunto de reações químicas envolvidas no processo de criação e perpetuação da vida (DIAS, 2004).

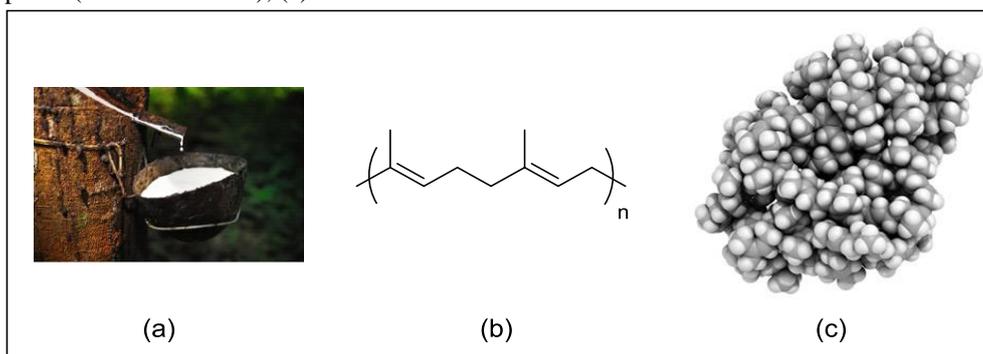
As proteínas possuem um importante papel nos organismos vivos, e um exemplo é a hemoglobina, responsável pelo transporte de oxigênio no sangue (Figura 2). A borracha natural é um polímero de adição<sup>1</sup>, ao passo que os polissacarídeos e as proteínas são polímeros de condensação<sup>1</sup>, obtidos, respectivamente, a partir de monossacarídeos e aminoácidos. A celulose é um dos compostos orgânicos mais abundantes da biosfera e cerca de 1.012 toneladas são sintetizados e degradados por ano na Terra (Figura 4). Os açúcares (carboidratos) são as principais moléculas armazenadoras de energia dos seres vivos (DIAS, 2004). Algumas estruturas desses polímeros naturais estão descritas nas Figuras 2, 3 e 4.

**Figura 2.** Estrutura da hemoglobina (esquerda) e grupo heme (direita).



Fonte: <http://www.wikiwand.com/es/Mult%C3%ADmero> e <http://www.wikiwand.com/nl/Heemverbinding>

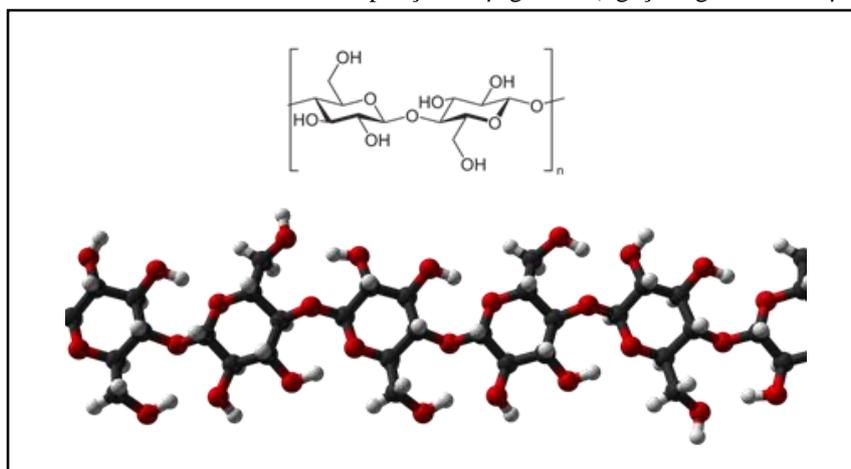
**Figura 3.** (a) Látex extraída da árvore da seringueira; (b) estrutura de repetição do isopreno formando o poliisopreno (borracha natural); (c) estrutura tridimensional da borracha natural.



Fonte: <http://www.wikiwand.com/nl/Heemverbinding> e <http://www.brasilecola.com/quimica/borracha-natural-sintetica.htm>

<sup>1</sup> Definições apresentadas no subtópico Polímeros Sintéticos.

**Figura 4.** Estrutura da celulose: unidades de repetição da  $\beta$ -glicose (ligações glicosídicas  $\beta 1 \rightarrow 4$ )



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Celulose>

### 3.3.2. Polímeros Sintéticos

Wan e cols (2001) trazem que somente a partir do início do século XX, com a aceitação da existência de macromoléculas foi possível a descoberta de muitas substâncias macromoleculares cujo resultado mais visível são os plásticos, borrachas, tintas e vernizes que fazem parte do nosso dia-a-dia, ou seja, os polímeros sintéticos.

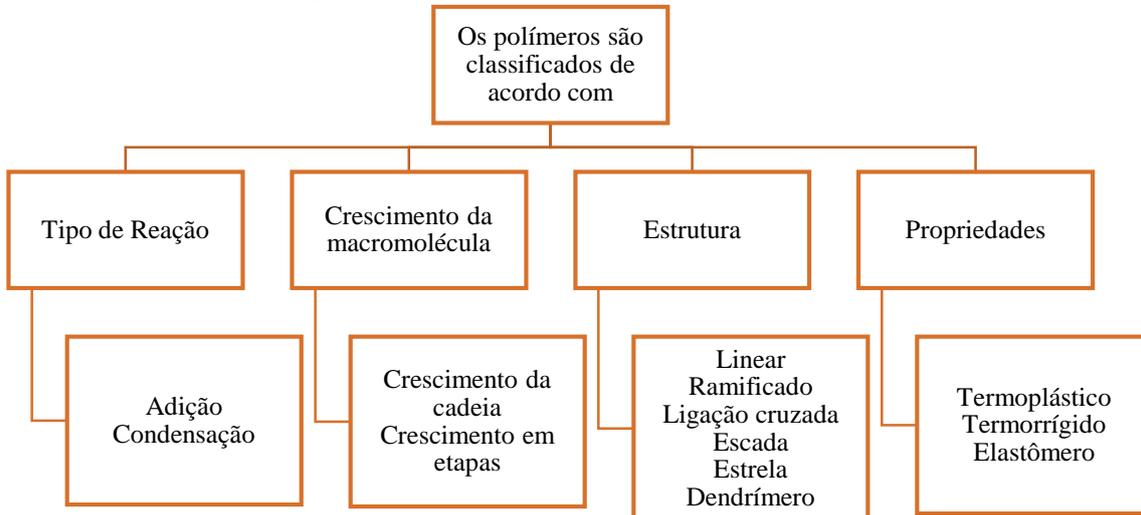
A IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry* – União Internacional de Química Pura e Aplicada) define a nomenclatura para polímeros de duas formas: (1) de acordo com a estrutura do polímero e (2) através de um sistema alternativo que tem como base a molécula do monômero, assim os polímeros são nomeados de acordo com os monômeros dos quais (eles) são preparados, sendo este sistema mais usado para nomenclatura (CAREY, 2011).

Quando o nome do monômero é uma única palavra, o polímero derivado dele é gerado pela adição do prefixo *poli-* antes do nome desse monômero (poliacrilonitrila, polímero da acrilonitrila). Já quando o nome do monômero consiste em duas palavras, essas palavras são colocadas entre parênteses imediatamente após o prefixo *poli* (poli (cloreto de vinila), polímero do cloreto de vinila) (CAREY, 2011, p.1230).

Carey (2011) traz em sua abordagem que a classificação dos polímeros é ampla, uma vez que cada polímero é classificado de uma forma, de acordo com suas

características específicas, de uma forma mais geral segue um esquema dessa classificação (Figura 5):

**Figura 5.** Classificação dos polímeros.



Fonte: Adaptado de CAREY, 2011, p. 1231.

A seguir, estão descritas a classificação dos polímeros de acordo com o tipo de reação e de acordo com as propriedades.

**Polímeros de Adição:** “ocorre pela seguida repetição de um mesmo monômero, ou seja, haverá seguidas adições de monômeros iguais até a formação de uma macromolécula” (RODRIGUES, 2012, p. 25).

**Polímeros de Condensação:** ocorre pela reação entre dois monômeros iguais ou diferentes. Essa polimerização caracteriza-se pela reação entre grupos funcionais, podendo ocorrer eliminações de moléculas pequenas (RODRIGUES, 2012).

**Termoplásticos:** tornam-se menos rígidos à medida que a temperatura se eleva. “Suas estruturas podem ser lineares ou ramificadas; são parcialmente cristalinos ou com grandes estruturas amorfas; podem ser conformados mecanicamente, repetidas vezes, desde que reaquecidos (são facilmente recicláveis)” (RODRIGUES, 2012, p. 26).

**Termorrígidos:** tornam-se mais rígidos com o aquecimento, não amolecem facilmente. “É formado por reações químicas irreversíveis que criam ligações cruzadas à medida que o polímero termoendurecido é aquecido” (CAREY, 2011, p. 1237) e por isso são completamente amorfos.

**Elastômeros:** “São materiais com baixa fluência plástica, grande extensibilidade e capacidade de recuperar rapidamente a forma original após estar sujeito a grandes

deformações físicas” (RODRIGUES, 2012, p. 26). “Ligações cruzadas nos elastômeros limitam a extensão até a qual os elastômeros podem ser deformados, e depois os ajudam a retornarem à sua forma original quando relaxados” (CAREY, 2011, p. 1237).

### 3.4. Polímeros mais utilizados no dia-a-dia: conceitos, usos e tratamento.

De acordo com o tipo de propriedade que o polímero apresente, pode-se reutilizá-lo, os polímeros mais reciclados são os termoplásticos. A Figura 6 a seguir, apresenta os códigos utilizados nas embalagens, para orientar no processo de separação dos diferentes tipos de materiais, facilitando o processo de reciclagem.

**Figura 6.** Código de reciclagem encontrados em embalagens plásticas.



Fonte: FONSECA, 2010, p. 283.

“Esses códigos indicam qual tipo de matéria prima foi utilizado na fabricação do material, favorecendo o processo de separação e a reciclagem dos diversos tipos de polímeros que são utilizados para produzir diversificados utensílios e equipamentos” (ROCHA e cols, 2013, p. 22).

Uma forma de tratamento para os diversos tipos de polímeros é a reutilização ou reciclagem. “O termo **reutilização** ou **reuso** é utilizado em processos de reciclagem para designar o resíduo que é aproveitado sem que tenha sofrido uma transformação, ou seja, designa o reaproveitamento do material ou embalagem para a mesma finalidade” (LONTRA, 2011, p. 9). Outro termo utilizado é **recuperado**, para indicar que o material foi reprocessado a fim de que se fosse obtido um produto novamente útil, ou passou por algum processamento químico.

#### 3.4.1. Poli (tereftalato de etileno) – PET

“A sigla PET deriva das primeiras letras do nome científico dado a esse plástico: poli (tereftalato de etileno)” (PEREIRA e cols, 2002, p.2). O início das pesquisas envolvendo o PET se deu durante a segunda guerra mundial em laboratórios dos Estados Unidos e da Europa. “Em 1946, Whinfield e Dickson descobriram o poli (tereftalato de etileno) (PET), o qual apresenta alta temperatura de fusão (~265 °C) e alta estabilidade hidrolítica devido a presença de anéis aromáticos na cadeia principal” (ROMÃO, 2009, p.1). Inicialmente as aplicações deste material foram feitas quase que totalmente na indústria de tecidos, apenas em 1970 que o poli (tereftalato de etileno) foi empregado na indústria de embalagens (PEREIRA, 2002).

“As embalagens de PET são identificadas pelo número 1. Na maioria das embalagens, o triângulo é aplicado em alto relevo na parte inferior do recipiente” (PEREIRA, 2002, p. 3). Como fora apresentado na figura 6.

O PET por apresentar a propriedade de ser um termoplástico, sua reciclagem pode acontecer por diversas vezes, com mínimas alterações em suas propriedades originais (SANTOS, 2008). Os processos de reciclagem de PET pós-consumo mais conhecidos são: a reciclagem química e reciclagem mecânica.

### 3.4.2. Polietileno de Alta densidade – PEAD

A seguir está demonstrada a estrutura molecular do PEAD (Figura 7).

**Figura 7.** Estrutura molecular do PEAD.



Fonte: FELTRE, 2004, p. 386.

Sua estrutura (PEAD) por não apresentar ramificações se compactam melhor, o que forma um polímero de maior massa molecular, mais denso e mais rígido do que o polietileno de baixa densidade. “Os polietilenos são inertes face à maioria dos produtos químicos comuns, devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e sua estrutura parcialmente cristalina” (COUTINHO e cols, 2003, p. 1).

Dependendo do tipo de processamento empregado na fabricação de seus materiais, o PEAD tem várias aplicações (LONTRA, 2011). Algumas dessas aplicações podem ser vistas no Quadro 1.

**Quadro 1.** Processamento e aplicações do PEAD.

PROCESSAMENTO	APLICAÇÕES
<b>Moldagem por sopro</b>	Tanques de 60 a 250 litros, embalagens para detergentes, cosméticos e defensivos agrícolas, tanques para fluido de freio.
<b>Extrusão</b>	Isolamento de fios telefônicos, dutos para mineração e dragagem, revestimento de tubulações metálicas, sacos para congelados, redes para embalagens de frutas, fitas decorativas, sacos para lixo e sacolas de supermercado.
<b>Moldagem por injeção</b>	Baldes e bacias, engradados, banheiras infantis, brinquedos, conta-gotas para remédios, bandejas para pintura, potes para alimentos, assentos sanitários, jarros d’água, tampas para garrafas e potes, caixas d’água.

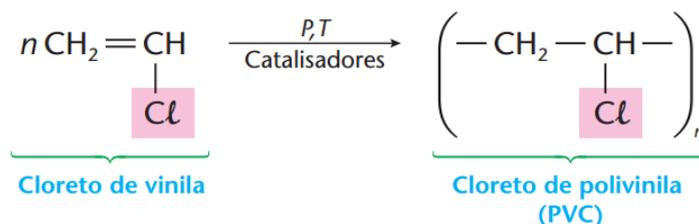
Fonte: Adaptado de LONTRA, 2011, p.7.

O tratamento mais utilizado para o PEAD ainda é a reciclagem mecânica.

### 3.4.3. Poli (cloreto de vinila) – PVC

A reação de polimerização deste polímero caracteriza-se por ser realizada via radicais livres do cloreto de vinila, produzindo ao final um polímero com alto peso molecular, rígido e quebradiço, com uma coloração branca (ZAIIONCZ, 2004). O resultado dessa reação é o cloreto de polivinila, indicada na Figura 8:

**Figura 8.** Reação para a formação do PVC.



Fonte: FELTRE, 2004, p. 379.

O PVC “pode ter suas características alteradas dentro de um amplo espectro de propriedades, variando desde o rígido ao extremamente flexível” (ZAIIONCZ, 2004, p.7), devido essa sua característica torna-se o mais versátil dentre os polímeros termoplásticos, sendo possível diversas aplicações para esse material. Por apresentar propriedades como: “excelente resistência ao stress *cracking* (fratura por tensão ou deformação); inércia térmica; resistência à corrosão e à água; rigidez; transparência; isolamento térmico e elétrico” (PEREIRA, 2009, p. 82), o torna um dos polímeros mais utilizados do Brasil, podendo ser aplicado em diversos materiais e áreas (Quadro 2):

**Quadro 2.** Principais seguimentos de aplicações do PVC.

SEGUIMENTOS	APLICAÇÕES
<b>Embalagens</b>	As aplicações do PVC nesse setor são muito variadas, pois as embalagens de PVC podem ser rígidas ou flexíveis e transparentes ou opacas, variando desde bolsas de sangue e blisters para a indústria farmacêutica, até grandes silos de estocagem.
<b>Calçados</b>	Confecção de solados e outros componentes, expandidos ou compactos, com os quais podem ser produzidas tanto sandálias inteiramente moldadas em uma única etapa, quanto calçados mais sofisticados nos quais acabamentos elaborados como transparência ou brilho podem ser dosados mediante a correta formulação do material.
<b>Construção civil</b>	Tubos, conexões, perfis, fios e cabos somam aproximadamente 64% da demanda total de PVC no Brasil. Nessas aplicações o PVC mostra excelente relação custo-benefício, apresenta vantagens

	facilmente perceptíveis em quesitos fundamentais como comportamento antichama, resistência ao intemperismo, isolamento térmico e acústico, facilidade de instalação, baixa necessidade de manutenção e excelente acabamento e estética.
--	---

Fonte: ZAIONCZ, 2004, p.10.

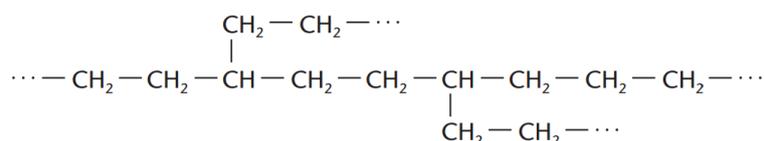
“O PVC é reciclável e pode ser utilizado em uma diversidade de produtos com aceitação de até 15% de mistura com outros plásticos” (PEREIRA, 2009, p. 83).

#### 3.4.4. Polietileno de baixa densidade – PEBD

Lontra (2011, p. 6) traz em sua abordagem que “a principal diferença entre os principais tipos de polietileno é a presença de ramificações na cadeia polimérica. Essas ramificações podem ser geradas por diferentes mecanismos”.

Por apresentar cadeias ramificadas em suas estruturas, obtido sob temperatura e pressão elevadas, o PEBD é mais flexível que o PEAD. A Figura 9 mostra a estrutura molecular do PEBD:

**Figura 9.** Estrutura molecular do PEBD.



Fonte: FELTRE, 2004, p. 385.

A “reação é altamente exotérmica e assim uma das principais dificuldades do processo é a remoção do excesso de calor do meio reacional. Essa natureza altamente exotérmica da reação a altas pressões conduz a uma grande quantidade de ramificações de cadeia” (PEREIRA, 2009, p. 75).

O polietileno de baixa densidade por ser um material flexível, de boa dureza, elevada resistência química, boas propriedades elétricas, facilmente processável, atóxico e inerte, encontra um bom campo de atuação pelo processo de sopro e moldagem por injeção (COUTINHO, 2003; PEREIRA, 2009). Desta maneira, o polietileno de baixa densidade é aplicado como filmes para embalagens industriais e agrícolas, filmes

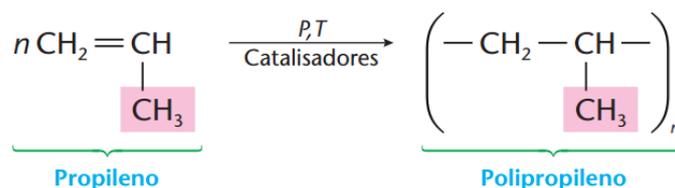
destinados a embalagens de alimentos líquidos e sólidos, filmes laminados e plastificados para alimentos, embalagens para produtos farmacêuticos e hospitalares, brinquedos e utilidades domésticas, revestimento de fios e cabos, tubos e mangueiras (COUTINHO, 2003).

O processo utilizado na reciclagem do PEBD, mais comum é o mecânico, os quais consistem em moagem, derretimento, corte e granulação de resíduos plásticos.

### 3.4.5. Polipropileno – PP

“O polipropileno é uma resina termoplástica, pertencente ao grupo das poliolefinas que inclui os polietilenos e polibutenos, com ampla faixa de propriedades e grande facilidade de processamento” (PEREIRA, 2009, p. 75), desde que foi introduzido em 1954. É produzido pela reação indicada na Figura 10.

**Figura 10.** Reação para a formação do Polipropileno (PP).



Fonte: FELTRE, 2004, p. 379.

“As macromoléculas de polipropileno podem conter milhares de unidades monoméricas” (PEREIRA, 2009, p. 75). “A alta cristalinidade do PP, entre 60 e 70%, lhe confere elevada resistência mecânica, rigidez e dureza que se mantém a temperaturas relativamente elevadas” (SILVA, 2013, p. 19).

“Os tipos de polipropileno englobam homopolímeros, copolímeros randômicos e copolímeros heterofásicos” (PEREIRA, 2009, p. 75). Um resumo com as descrições e algumas aplicações desses polímeros estão no Quadro 3.

**Quadro 3.** Descrição e aplicações dos grupos de produtos do polipropileno.

GRUPO	DESCRIÇÃO
<b>Homopolímeros</b>	Obtidos exclusivamente por meio da polimerização do propeno, possuem excelente brilho e rigidez, sendo extensamente usados na

	produção de rafia para sacaria industrial, confecção de móveis plásticos e utilidades domésticas.
<b>Copolímeros Heterofásicos</b>	Incorporando, de forma específica, moléculas de eteno ao polímero, possuem excelente balanço de rigidez e resistência a impactos, sendo amplamente utilizados na produção de peças automobilísticas, embalagens rígidas e aplicações industriais.
<b>Copolímeros Randômicos</b>	Incorporando, de forma aleatória, moléculas de eteno ao polímero, possuem excelentes propriedades óticas, como brilho e transparência, e menor temperatura de fusão, com aplicação na fabricação de utensílios domésticos e produtos que exigem alta transparência, como embalagens rígidas e utilidades domésticas de alta transparência e flexíveis para a indústria alimentícia.

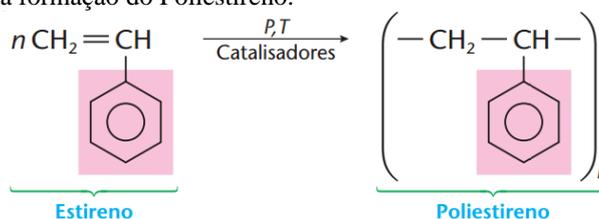
Fonte: Adaptado de PEREIRA, 2009, p. 78.

De uma forma mais geral, podemos ter como aplicações comerciais do polipropileno: brinquedos; recipientes para alimentos, remédios, produtos químicos; carcaças para eletrodomésticos; fibras; tubos para cargas de canetas esferográficas; carpetes; seringas de injeção; material hospitalar esterilizável; autopeças (para-choques, pedais, carcaças de baterias, lanternas, ventoinhas, ventiladores, peças diversas no habitáculo) e peças para máquinas de lavar.

#### 3.4.6. Poliestireno – PS

“O poliestireno (PS) é um polímero vinílico, sendo, portanto, uma cadeia hidrocarbônica com um grupo fenila unido a um dos carbonos do grupo vinila. Este é produzido a partir do monômero estireno através de polimerização de radicais livres” (VERONESE, 2013, p. 3). Na Figura 11 segue a reação para a formação do Poliestireno:

**Figura 11.** Reação para a formação do Poliestireno.



Fonte: FELTRE, 2004, p. 380.

“Na formação por radicais livres se forma o poliestireno atático, tipo de configuração onde o grupo fenila está disposto espacialmente ao acaso ao longo da cadeia polimérica, sendo um polímero termoplástico amorfo” (VERONESE, 2013, p. 4).

O Poliestireno caracteriza-se por sua dureza, sua facilidade de processamento e seu baixo custo. É completamente inodoro, insípido e atóxico; queima como chama fuliginosa, amarela alaranjada, lentamente, e não se extingue; possui boa estabilidade dimensional e pequena absorção de umidade. Possui excepcionais propriedades elétricas que permanecem constantes numa ampla faixa de temperatura e frequência (PEREIRA, 2009; VERONESE, 2013; DATASHEET, 2013).

O poliestireno se apresenta como quatro tipos básicos, estes estão dispostos no Quadro 4.

**Quadro 4.** Tipos de Poliestireno e suas características.

<b>TIPO DE POLIESTIRENO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>PS cristal</b>	Homopolímero amorfo, duro, com brilho e elevado índice de refração. Pode receber aditivos lubrificantes para facilitar processamento. Usado em artigos de baixo custo.
<b>PS resistente ao calor</b>	Maior Massa Molar, o que torna seu processamento mais difícil. Ideal para confecção de peças de máquinas ou automóveis, gabinetes de rádios e TV, grades de ar condicionado, peças internas e externas de eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos, circuladores de ar, ventiladores.
<b>PS de alto impacto</b>	Contém de 5 a 10% de elastômero (borracha), que é incorporado através de mistura mecânica ou diretamente no processo de polimerização, através de enxerto na cadeia polimérica. Obtém-se desse modo uma blenda. Muito usado na fabricação de utensílios domésticos (gavetas de geladeira) e brinquedos.
<b>PS expandido</b>	Espuma semirrígida com marca comercial isopor <sup>(R)</sup> . O plástico é polimerizado na presença do agente expensor ou então o mesmo pode ser absorvido posteriormente. Baixa densidade e bom isolamento térmico. Aplicações: protetor de equipamentos, isolantes térmicos, pranchas para flutuação, geladeiras isotérmicas, etc.

Fonte: Adaptado de PEREIRA, 2009, p. 81.

Outras aplicações para o Poliestireno são: embalagens, caixas de CD, copos, gabinetes de computador, maçanetas de automóveis, equipamentos aeronáuticos, etc (VERONESE, 2013).

### 3.4.7. Reciclagem de Plásticos

LONTRA (2011) defende em seu discurso que quando se compara a produção de um bem a partir da reciclagem, está é mais econômica em aspectos de consumo de energia, água e materiais utilizados, do que a produção a partir da matéria-prima virgem. A reciclagem de polímeros pode ser classificada em quatro categorias: primária, secundária, terciária e quaternária, essas categorias estão descritas no Quadro 5:

**Quadro 5.** Categorias de reciclagem de plásticos.

<b>CATEGORIA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Reciclagem primária</b>	Consiste na conversão dos resíduos poliméricos industriais por métodos de processamento padrão em produtos com características equivalentes àquelas dos produtos originais produzidos com polímeros virgens.
<b>Reciclagem secundária</b>	Conversão dos resíduos poliméricos provenientes dos resíduos sólidos urbanos por um processo ou uma combinação de processos em produtos que tenham menor exigência do que o produto obtido com polímero virgem,
<b>Reciclagem terciária</b>	Processo tecnológico de produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos poliméricos.
<b>Reciclagem quaternária</b>	Processo tecnológico de recuperação de energia de resíduos poliméricos por incineração controlada.

Fonte: Adaptado de SPINACÉ e cols, 2005, p. 66.

Spinacé traz uma melhor identificação dessas categorias, onde “a reciclagem primária e a secundária são conhecidas como reciclagem mecânica ou física, o que diferencia uma da outra é que na primária utiliza-se polímero pós-industrial e na secundária, pós-consumo.” A reciclagem terciária também é chamada de química e a quaternária de energética (SPINACÉ e cols 2005, p. 66).

Sendo assim, serão descritos os métodos de reciclagem: reciclagem química, mecânica e energética.

**Reciclagem Mecânica:** O plástico é transformado em grãos para serem reaproveitados na fabricação de outros produtos, como sacos de lixo, solados, pisos, conduítes, mangueira, componentes de automóveis, fibras, embalagens não-alimentícias

e outros (LONTRA, 2011). No Quadro 6 estão descritas as etapas do processo de reciclagem mecânica:

**Quadro 6.** Etapas do processo de reciclagem mecânica.

<b>ETAPAS DA RECICLAGEM MECÂNICA</b>	
<b>Separação</b>	Separação em uma esteira dos diferentes tipos de plásticos, de acordo com a identificação ou com o aspecto visual. Nesta etapa são separados também rótulos de materiais diferentes, tampas de garrafas e produtos compostos por mais de um tipo de plástico, embalagens metalizadas, grampos, etc. Por ser uma etapa geralmente manual, a eficiência depende diretamente da prática das pessoas que executam esta tarefa.
<b>Moagem</b>	Após separados os diferentes tipos de plásticos, estes são moídos e fragmentados em pequenas partes.
<b>Lavagem</b>	Após triturado, o plástico passa por uma etapa de lavagem com água para a retirada dos contaminantes. É necessário que a água de lavagem receba um tratamento para a sua reutilização ou emissão como efluente.
<b>Aglutinação</b>	Além de completar a secagem, o material é compactado, reduzindo-se assim o volume que será enviado a extrusora. O atrito dos fragmentos contra a parede do aparelho rotativo provoca elevação da temperatura, levando a formação de uma massa plástica. O aglutinador também é utilizado para incorporação de aditivos, como cargas, pigmentos e lubrificantes.
<b>Extrusão</b>	A extrusora funde e torna a massa plástica homogênea. Na saída da extrusora, encontra-se o cabeçote, do qual sai um “espaguete” contínuo, que é resfriado com água. Em seguida, o “espaguete” é picotado em um granulador e transformado em pellet (grãos plásticos)

Fonte: Adaptado de LONTRA, 2011, p. 10.

**Reciclagem Química:** A reciclagem química ocorre através de processos de despolimerização por **solvólise** (*hidrólise, alcoólise, amilose*), ou por **métodos térmicos** (*pirólise à baixa e alta temperaturas, gaseificação, hidrogenação*) ou ainda **métodos térmicos/catalíticos** (pirólise e a utilização de catalisadores seletivos) (SPINACÉ e cols 2005, p. 68). Na Quadro 7 encontram-se algumas características deste meio de reciclagem.

**Quadro 7.** Processos usados na Reciclagem Química.

<b>PROCESSO</b>	<b>TIPO</b>	<b>CARACTERÍSTICAS</b>
<b>Solvólise</b>	Hidrólise	Conduz à recuperação dos monômeros de partida através de uma reação com excesso de

		água à alta temperatura na presença de um catalisador.
	Acoólise	Na <b>alcoólise</b> ou especificamente na metanólise, o material é tratado com excesso de metanol.
	Amilose	-
<b>Métodos Térmicos</b>	Pirólise à baixa e alta temperaturas	<b>Pirólise à baixa temperatura:</b> degradação térmica na ausência de ar ou deficiência de oxigênio. <b>Pirólise à alta temperatura:</b> decomposição térmica na ausência de ar ou deficiência de oxigênio, obtendo-se óleos e gases que, posteriormente, serão purificados por métodos petroquímicos padrões.
	Gaseificação	É inserido oxigênio insuficiente para que ocorra a combustão completa, ocorrendo simultaneamente a pirólise e a combustão no interior do leito.
	Hidrogenação	A quebra das cadeias poliméricas é inicialmente feita termicamente, resultando em radicais livres altamente reativos, os quais são posteriormente saturados com hidrogênio, obtendo-se hidrocarbonetos leves como metano, etano, propano e mistura de hidrocarbonetos na faixa de gasolina e diesel
<b>Métodos térmicos/catalíticos</b>	Pirólise	A pirólise é uma reação endotérmica, portanto é necessária a adição de calor, que pode ser fornecido diretamente (oxigênio-ar) ou indiretamente (troca de calor).
	Catalisadores seletivos	-

Fonte: Adaptado de SPINACÉ e cols, 2005, p. 69.

**Reciclagem Energética:** Se o reuso do resíduo polimérico não é prático ou econômico, é possível fazer uso de seu conteúdo energético através da **incineração**. (SPINACÉ e cols 2005, p. 69).

Os polímeros por serem muito utilizados hoje, são considerados por diversos ambientalistas como vilões para o meio ambiente. Os resíduos gerados pelo descarte desses materiais demoram muitos anos para se decompor naturalmente e poucas são as pessoas que se preocupam em separá-los corretamente para a reciclagem. Dessa forma Spinacé traz em seu discurso um trecho interessante:

A reciclagem de forma sistemática é uma das soluções mais viáveis para minimizar o impacto causado pelos polímeros ao meio ambiente. Vários aspectos motivam a reciclagem dos resíduos poliméricos contidos nos resíduos sólidos urbanos, a economia de energia, a preservação de fontes esgotáveis de matéria prima, a redução de custos com disposição final do resíduo, a economia com a recuperação de áreas impactadas pelo mau acondicionamento

dos resíduos, o aumento da vida útil dos aterros sanitários, a redução de gastos com a limpeza e a saúde pública e a geração de emprego e renda (SPINACÉ e cols 2005, p. 70).

### 3.5. Aprendizagem Colaborativa

Em um processo ensino/aprendizagem, devem estar presentes estratégias que forneçam ao professor ferramentas que auxiliem a execução de uma proposta de ensino efetivamente formadora de cidadãos. O objetivo principal deve ser a formação de sujeitos que possuam habilidades e competências desenvolvidas de maneira significativa para que possam atuar autônoma e criticamente no meio em que vivem (SILVA e SOARES, 2013).

Sendo assim, centralizar a aprendizagem colaborativa como uma proposta para o desenvolvimento do processo ensino/aprendizagem exige o engajamento de todos, professor e alunos, no processo de construção conjunta do conhecimento a partir de uma fundamentação autônoma e crítica. Nessa proposta, o aluno é constantemente incitado a colocar seu conhecimento à prova, pois necessita compartilhar seus posicionamentos e concepções para que possa ser avaliado e se avaliar.

Nesse sentido, a interação entre os pares fortalece a discussão a partir de pontos de vista, concepções e conhecimentos prévios dos próprios alunos, pode promover uma mudança conceitual e, assim, iniciar uma construção concreta e significativa da aprendizagem, tendo como ponto de partida a perspectiva conceitual dos sujeitos.

A perspectiva de uma transformação na forma de agir e se posicionar do discente no decorrer do processo ensino/aprendizagem remete a uma definição de aprendizagem colaborativa que corresponde a uma atividade em que os protagonistas dessa estratégia de ensino compartilham suas dificuldades e conhecimentos, enriquecendo-se mutuamente, construindo e mantendo uma concepção compartilhada de um problema.

Segundo as bases teóricas fornecidas por Johnson e cols (1999), para que o trabalho cooperativo (colaborativo) seja funcional e produtivo, as seguintes condições precisam estar presentes no processo de ensino e aprendizagem:

- interdependência positiva: sentimento do trabalho conjunto para um objetivo comum, no qual cada um se preocupa com a aprendizagem dos colegas;
- responsabilidade individual: responsabilidade pela própria aprendizagem e pela dos colegas e contribuição ativa para o grupo;

- interação face a face: oportunidade de interagir com os colegas de modo a explicar, elaborar e relacionar conteúdos;
- habilidades interpessoais: competências de comunicação, confiança, liderança, decisão e resolução de conflito;
- processamento grupal: balanços regulares e sistemáticos do funcionamento do grupo e da progressão na aprendizagem.

A aprendizagem colaborativa, nesse sentido, estabelece-se para além da interação social entre os pares. Esse método de aprendizagem aproxima o aspecto social existente em sala de aula na relação entre os pares, relevando a construção conjunta do conhecimento, uma vez que a responsabilidade pela construção de conceitos passa pelo crivo avaliativo individual e coletivo e não apenas pelo professor (SILVA e SOARES, 2013).

### 3.5.1. Aprendizagem colaborativa: Método de Aprendizagem Jigsaw

Como visto anteriormente, a aprendizagem colaborativa caracteriza-se por sua natureza social, uma vez que os estudantes interagem e compartilham suas ideias e conceitos adquiridos, possibilitando melhorar sua compreensão individual e mútua. Nas atividades cooperativas (no Brasil utiliza-se cooperativa como sinônimo para colaborativa, ao se tratar desse tipo de aprendizagem), os indivíduos buscam benefícios para si mesmos e, ao mesmo tempo, para todos os outros integrantes do grupo.

Essa aprendizagem baseia-se na divisão de pequenos grupos dentro da sala de aula. Esses pequenos grupos devem propor discussões de forma a melhorar a relação entre alunos e incentivar a socialização do conhecimento que foi objetivado no início da atividade. Os docentes deveriam utilizar os grupos de aprendizagem colaborativa na sala de aula, pois esses grupos contribuem para o desenvolvimento pessoal, social e escolar dos alunos, promovem as relações multiculturais positivas contribuindo para eliminar estereótipos, reforçam as qualidades próprias de cada pessoa e criam igualdade de oportunidades na educação (NASCIMENTO, 2015, p.25).

Alguns métodos baseados na aprendizagem colaborativa foram desenvolvidos, os mais investigados são: a Instrução Complexa, o TGT (*Teams-Games Tournament*), o

STAD (*Student Teams Achievement Division*) e o Jigsaw (COCHITO, 2004). No Quadro 8 estão descritos brevemente estes métodos, segundo Teodoro (2011):

**Quadro 8.** Descrição sucinta dos métodos baseados na aprendizagem colaborativa.

<b>Método</b>	<b>Descrição</b>
<b>Instrução Complexa</b>	Utiliza-se pequenos grupos e proporciona uma reciprocidade entre os alunos para intensificar a interação para a realização da atividade. Inicialmente o professor organiza as ideias iniciais ou conceitos com a inclusão de uma grande questão, em seguida o professor estimula a participação de todos os alunos com questionamentos sobre o tema e por fim este professor avalia o sucesso da atividade com questionamentos direcionados à satisfação e ao aprendizado na realização da atividade.
<b>TGT (Teams-Games Tournament)</b>	Utilizam o fator motivacional como elemento facilitador do processo de ensino/aprendizagem. Alunos distribuídos em grupos heterogêneos, a equipe deve se assegurar que todos estão preparados para uma competição, a qual responderão a questões de determinado conteúdo. Nessas competições cada aluno compete com outro considerado do mesmo nível e por fim cada aluno recebe uma pontuação individual que se soma as pontuações médias de sua equipe.
<b>STAD (Student Teams Achievement Division)</b>	Acontece de forma semelhante, mas em vez de competições, cada aluno é avaliado individualmente através de um teste, cada aluno deverá apresentar um quadro de evolução e a pontuação da equipe resulta da pontuação que é atribuída ao aluno, em função do seu desempenho anterior.
<b>Jigsaw</b>	Conjunto de procedimentos específicos especialmente adequados ao desenvolvimento de competências cognitivas.

Fonte: Texto adaptado de TEODORO (2011) e quadro produzido pelo autor.

“Cada método tem sua especificidade e a escolha de um deles se dará de acordo com o objetivo do docente em relação à disciplina proposta” (NASCIMENTO, 2015, p.25). Para desenvolvimento deste trabalho será utilizado o método colaborativo Jigsaw.

Cochito (2004) traz em seu trabalho que o método Jigsaw foi desenvolvido por Aaronson (1978), e caracteriza-se por um conjunto de procedimentos específicos adequados ao desenvolvimento de competências cognitivas. Esse método foi utilizado inicialmente em 1971, em Austin (Texas - Estados Unidos). Aaronson observou em sua turma que os alunos competiam entre si pelas maiores notas, pois trabalhavam individualmente. A solução encontrada foi estruturar o trabalho de forma colaborativa, em grupos de especialistas. Nestes grupos, o trabalho que cada aluno realiza é

indispensável para a concretização do resultado final, que seria a junção de saberes que cada um adquiriu de forma coletiva. (COCHITO, 2004)

Esse método funciona da seguinte maneira e se divide em três fases. Na primeira fase, os alunos são distribuídos por grupos de base heterogêneos e o conteúdo central a ser estudado é discutido por todos. Na segunda fase, cada aluno estuda e discute a sua parte juntamente, ou seja, seu subtópico, com os colegas dos outros grupos a quem foi distribuído o mesmo subtópico, formando assim um grupo de especialistas. Na terceira fase cada aluno volta ao grupo de base e apresenta o que aprendeu aos seus colegas de maneira que fiquem reunidos os conhecimentos indispensáveis para a concretização do trabalho/projeto do grupo. Cada aluno tem de aprender a matéria para ‘si próprio’ e também de explicar aos seus colegas, de forma clara, o que aprendeu, uma vez que todos serão avaliados, de forma individual, sobre todos os conteúdos estudados (COCHITO, 2004).

Diante do fato de que o tema polímero encontra uma resistência para ser ensinado em sala de aula, seja pela complexidade, grande quantidade de aplicações ou termos específicos, vê-se a necessidade de buscar formas mais atrativas e diversificadas para que o tema seja visto pelos estudantes. Desta forma, a aprendizagem colaborativa, mais especificamente o método Jigsaw, surge como forma de atender essas necessidades e ainda promover uma melhor relação social e construção do conhecimento coletivo entre os alunos e facilitar a aprendizagem desse conteúdo didático.

#### 4. METODOLOGIA

Neste estudo foi abordado o tema polímeros na perspectiva colaborativa de aprendizagem, seguindo o método de aprendizagem Jigsaw. A pesquisa foi desenvolvida em uma turma da disciplina de Educação Ambiental no curso de graduação em Química-Licenciatura da Universidade Federal de Pernambuco com uma amostra média de 15 alunos.

Esta pesquisa se tratou de um estudo de caso. Conforme Gil (2002), tal perspectiva envolve o estudo de poucos objetos, possibilitando assim um melhor detalhamento e abordagem específica. É indicado para investigação de fenômenos dentro do seu cenário natural e verdadeiro.

Esta pesquisa teve uma abordagem qualitativa a partir da observação participante. Godoy (1995) e Creswell (2005), destacam que as características que classificam a pesquisa como qualitativa envolvem o desenvolvimento do estudo num contexto real, devendo ser analisado numa perspectiva integrada. Observação participante é aquela em que o pesquisador toma contato com a comunidade, grupo ou realidade estudada (MARCONI e LAKATOS, 2003).

Os instrumentos de coleta de dados envolveram a aplicação de questionários antes e após a intervenção didática. De acordo com Marconi e Lakatos (2003) questionários envolvem uma forma de coleta de dados constituída por uma série ordenada de perguntas, que devem ser respondidas por escrito e sem a presença do entrevistador.

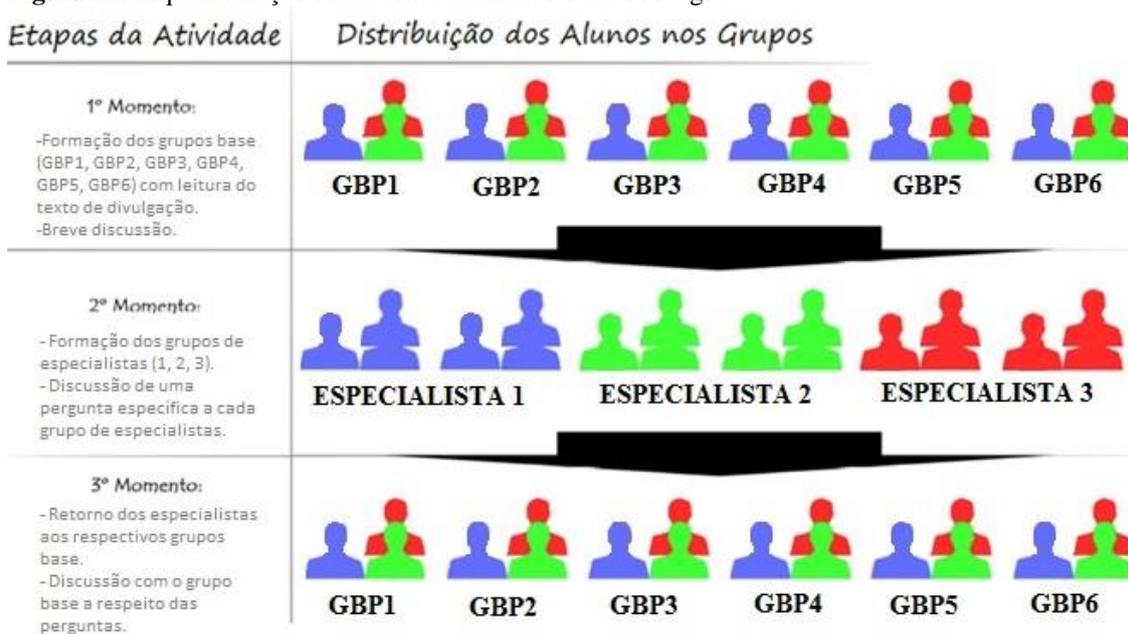
A atividade envolveu 2 (dois) encontros. Cada encontro teve duração de 2 horas/aula. Os estudantes foram divididos em 6 Grupos Base de polímeros (GBP). Cada GBP foi composto por 3 integrantes. Cada integrante do GBP foi enumerado de 1 a 3 e cada número correspondeu a um tema/especialidade: 1 – Conceitos gerais; 2 – Usos; 3 – Tratamentos/reciclagem. Na Tabela 1 e na Figura 12 estão esquematizados como se procedeu a atividade.

**Tabela 1.** Representação dos grupos de base e divisão dos especialistas na atividade.

	<b>Especialista 1</b>	<b>Especialista 2</b>	<b>Especialista 3</b>
<b>Grupo Base de polímeros – GBP<sup>1</sup></b>	<b>Aluno 1</b>	<b>Aluno 2</b>	<b>Aluno 3</b>
<b>GBP1 (PET)</b>	Conceitos gerais	Usos	Tratamentos
<b>GBP2 (PEAD)</b>	Conceitos gerais	Usos	Tratamentos
<b>GBP3 (PVC)</b>	Conceitos gerais	Usos	Tratamentos
<b>GBP4 (PEBD)</b>	Conceitos gerais	Usos	Tratamentos
<b>GBP5 (PP)</b>	Conceitos gerais	Usos	Tratamentos
<b>GBP6 (PS)</b>	Conceitos gerais	Usos	Tratamentos

<sup>1</sup> Entre parênteses os tipos de polímeros a serem estudados: PET – Poli (tereftalato de etileno); PEAD - Polietileno de Alta densidade; PVC – Poli (cloreto de vinila); PEBD - Polietileno de baixa densidade; PP - Polipropileno; PS – Poliestireno.

Fonte: Produção do Autor.

**Figura 12.** Esquematização da atividade utilizando o método Jigsaw.

Fonte: Adaptado de LEITE e cols, 2013.

Essa atividade foi dividida em momentos, cada aluno participou desses momentos.

Momento I:

- Aplicação de um questionário prévio (Apêndice A) sobre polímeros.

Momento II:

- Uma breve abordagem sobre o tema polímeros.

- Distribuição de textos norteadores com cada tema central e discussão do tema pelo grupo. Após cada momento foi feito o preenchimento de uma tabela.

Momento III:

- Divisão dos grupos de especialistas, conforme Tabela 2.

Foi necessário fazer uma adaptação a metodologia no momento de desenvolvimento da atividade, dividindo-se os grupos de especialistas em dois grupos (Grupo 1 e Grupo 2), adaptação feita devido à ausência de alguns alunos. Ao fim das discussões dos grupos fez-se um troca de integrantes do Grupo 1 com o grupo 2 para que todos tivessem contato com os demais tipos de polímeros. Adaptação melhor demonstrada na Tabela 2.

**Tabela 2.** Divisão dos especialistas.

<b>Grupo</b>	<b>Especialista 1 (conceitos)</b>	<b>Especialista 2 (usos)</b>	<b>Especialista 3 (tratamento)</b>
<b>Grupo 1</b>	GBP1 (PET)	GBP1 (PET)	GBP1 (PET)
	GBP2 (PEAD)	GBP2 (PEAD)	GBP2 (PEAD)
	GBP3 (PVC)	GBP3 (PVC)	GBP3 (PVC)
<b>Grupo 2</b>	GBP4 (PEBD)	GBP4 (PEBD)	GBP4 (PEBD)
	GBP5 (PP)	GBP5 (PP)	GBP5 (PP)
	GBP6 (PS)	GBP6 (PS)	GBP6 (PS)

Fonte: Produção do Autor.

Momento IV:

- Especialistas retornaram ao grupo base.

- Aplicação de Tabela específica para cada grupo, abordando todos os tipos de polímeros estudados na atividade.

Momento V:

- Aplicação de um questionário pós-intervenção (Apêndice G).

A análise dos dados utilizada para a formulação dos resultados, apoiou-se na análise de conteúdo proposta por Bardin (1977), que é caracterizada por um conjunto de instrumentos metodológicos que se aplicam a discursos (escritos ou falados). Nesta análise de conteúdo faz-se uso de procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo dos discursos.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com o objetivo geral proposto nesse trabalho e da metodologia desenvolvida para obtenção de resultados, nesta seção serão apresentados a análise feita dos questionários pré-teste e pós-teste, assim como a análise e discussão da aprendizagem colaborativa no formato Jigsaw, com intuito de atender aos objetivos específicos apresentados inicialmente. Nos itens a seguir estão apresentados os resultados obtidos.

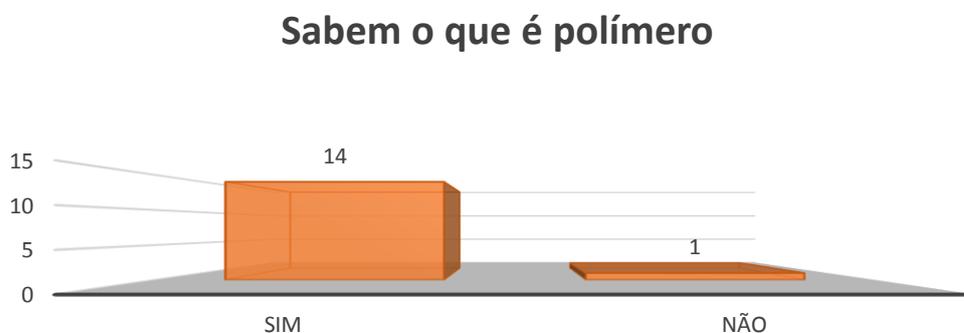
Os discentes serão identificados nessa seção de forma aleatória pelo termo aluno abreviado na forma  $An$  ( $n$  será um número aleatório, apenas para identificar determinada fala).

### 5.1. Conhecendo as concepções iniciais dos alunos: Análise do pré-teste

A partir do conceito abordado por Marconi e Lakatos (2003), foi aplicado um questionário pré-teste (5 questões, Apêndice A) antes da intervenção, com intuito de verificar se os alunos da disciplina de Educação Ambiental apresentavam conceitos prévios sobre o tema discutido – polímeros.

Neste primeiro momento (I), 15 discentes participaram da coleta de dados, e ao serem indagados se sabiam o que são polímeros, o Gráfico 1 foi obtido:

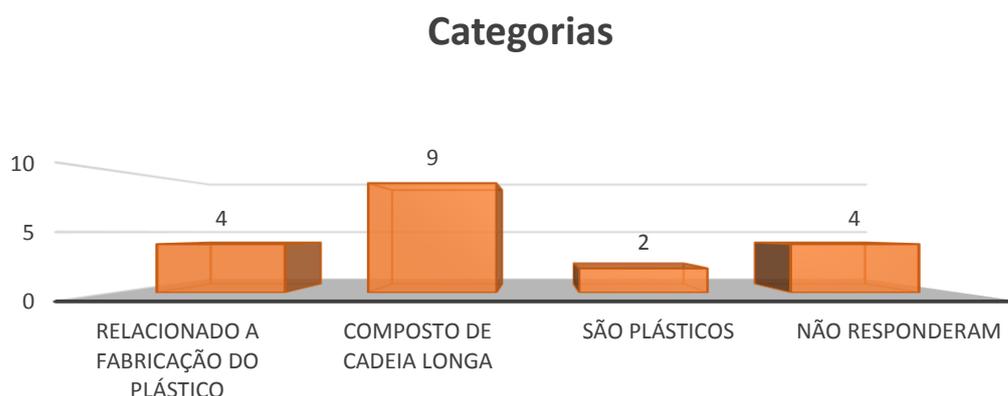
**Gráfico 1.** Conhecem o que são polímeros.



Fonte: Produção do autor.

De todos os discentes, apenas um afirmou não saber o que são polímeros. Ainda nessa mesma questão, foi solicitado que caso os discentes conhecessem algo sobre o tema, eles explicassem. Dos 14 que afirmaram conhecer, apenas 11 se arriscaram a tentar explicar. A partir das respostas dadas por eles foram feitas categorizações seguindo o método de análise de conteúdo de Bardin (1977), as quais estão descritas no Gráfico 2:

**Gráfico 2.** Principais categorizações feitas a partir das respostas dos discentes.



Fonte: Produção do autor.

Nas respostas apresentadas pelos discentes, foi possível identificar esses elementos principais, alguns apresentam um senso comum sobre o conteúdo. Inicialmente foi observado que os alunos associam polímeros a uma substância relacionada à fabricação ou ao próprio plástico já processado, nas falas dos alunos A1, A5, A8 e A14 fica perceptível essas afirmações (Tabela 3):

**Tabela 3.** Falas dos alunos.

Aluno	Definição
A1	“..., polímero é alguma substância (se assim posso chamar) que está relacionado na fabricação do plástico”
A5	“..., são aplicados geralmente em plásticos”
A14	“São plásticos”
A8	“... cadeias longas, por exemplo, plásticos.”

Fonte: Produção do autor.

Percebe-se que os alunos têm a ideia de que polímeros são (ou só podem ser) plásticos, não associando a outros tipos de polímeros.

Foi observado que alguns discentes já trouxeram uma explicação mais elaborada e com um conhecimento científico mais aprofundado ao relacionar a formação de polímeros às cadeias longas. Mesmo sendo uma resposta incompleta, pode ser considerada em sua essência, uma vez que polímeros são compostos de cadeias longas (macromoléculas) formadas pela repetição de unidades (monômeros) unidas entre si, conceito abordado por Carey (2011). Deve-se ressaltar que os discentes não estudaram esse conteúdo em sala de aula. Na Tabela 4, estão descritas algumas falas.

**Tabela 4.** Falas dos alunos.

Aluno	Definição
A2	“... são compostos que tem em sua essência longas cadeias de carbono...”
A3	“São compostos que possuem cadeias longas”
A7	“Composto de cadeia longa”
A8	“São compostos formados por cadeias longas...”

Fonte: Produção do autor.

Na segunda pergunta do questionário foi solicitado que os alunos respondessem sobre a classificação de polímeros, através da pergunta: “*Você sabe qual é a classificação básica dos polímeros?*” Caso conhecessem, que as descrevessem sucintamente. Os dados são apresentados no Gráfico 3.

**Gráfico 3.** Classificação dos polímeros segundo os alunos.



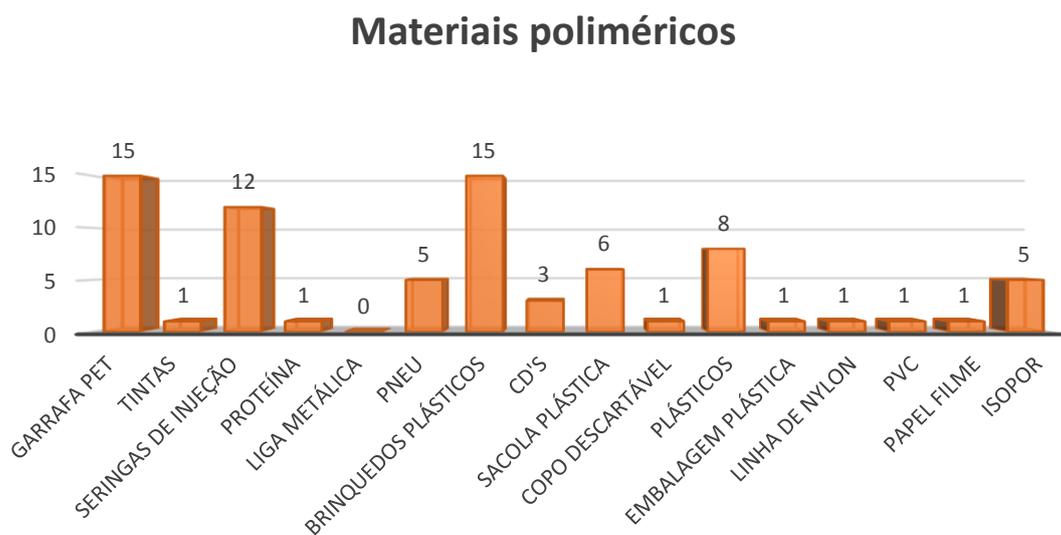
Fonte: Produção do autor.

Dos alunos que responderam a esta pergunta, apenas três afirmaram conhecer a classificação básica dos polímeros, mas ao serem analisadas suas explicações, foi observado que eles estavam equivocados, pois associaram a classificação à formação dos polímeros, bem como também os classificaram como plásticos. Na fala do aluno A4 fica claro essa confusão: “são compostos de cadeias longas, bacias de plástico”. A

classificação básica que era solicitada era a subdivisão de polímeros em: polímeros naturais e sintéticos.

Ao se analisar em conjuntos as questões 3 e 4, “Cite três polímeros usados no dia-a-dia” e “Assinalar quais materiais são considerados polímeros”, sendo esta última uma questão de múltipla escolha, o Gráfico 4 foi obtido.

**Gráfico 4.** Materiais poliméricos.



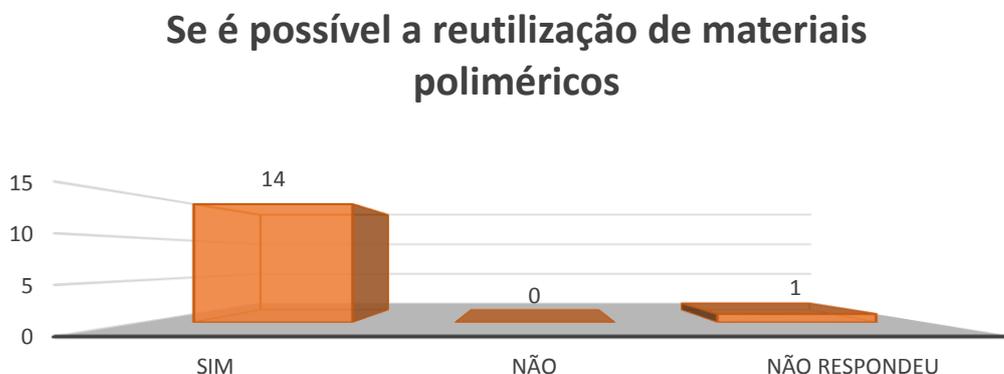
Fonte: Produção do autor.

O Gráfico 4 apresentado, traz os oito primeiros materiais descritos na questão 4 e os demais foram exemplos trazidos pelos alunos como solicitado na questão 3. Ao se analisar o gráfico confeccionado, foi observado que os alunos não conseguiram identificar todos os materiais poliméricos, e que eles associam os polímeros apenas a plásticos.

Os exemplos que eles trazem mais visíveis acerca dos exemplos apresentados são a garrafa PET e os brinquedos plásticos, demonstrando que esses são os materiais que eles conseguem identificar naturalmente, por serem materiais mais comuns. A seringa de injeção foi outro material que muitos conseguiram identificar como polímero. Os alunos demonstraram um conhecimento restrito sobre o conceito e identificação dos polímeros, ficando limitados àqueles de uso comum, largamente aplicados (caso da Garrafa PET e dos plásticos de modo geral), e a partir do desenvolvimento desse trabalho, espera-se que essa realidade mude.

O resultado obtido no último item do questionário, “É possível reutilizar materiais poliméricos? Justifique sua resposta.” é apresentado no Gráfico 5.

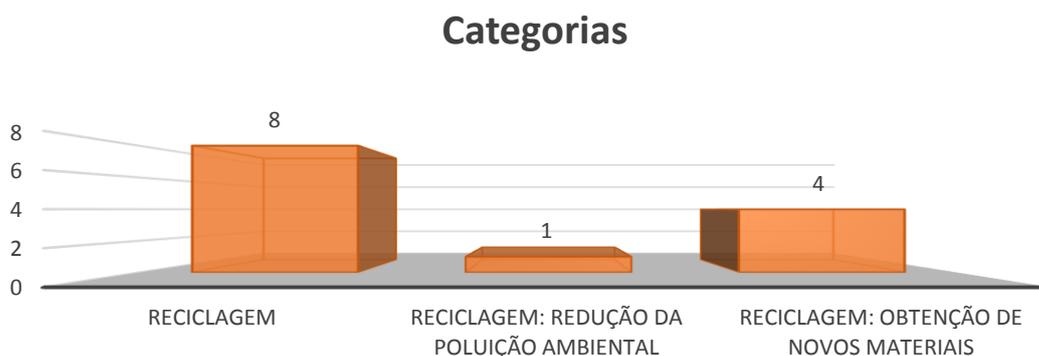
**Gráfico 5.** Percepção dos alunos quanto à possibilidade de reciclagem dos polímeros.



Fonte: Produção do autor.

Ao se analisar esta questão, fica evidente que eles conhecem a possibilidade de reciclagem dos polímeros, uma vez que há uma gama de materiais que podem ser reutilizados e reciclados. Na justificativa que muitos responderam, foi possível fazer as seguintes categorizações, demonstradas no Gráfico 6.

**Gráfico 6.** Categorizações feitas a partir das respostas dos discentes.



Fonte: Produção do autor.

Os alunos identificaram que é possível reutilizar materiais poliméricos a partir da reciclagem, como mostrado no Gráfico 6. Os alunos em suas descrições trazem apenas que pode ser possível essa reutilização através da reciclagem, mas não trazem nenhum conceito mais detalhado sobre esses processos de reciclagem. Essa descrição fica evidente

nas falas dos alunos A4, A6, A10 e A12, respectivamente, ao responderem: “Sim, por meio da reciclagem”, “Sim, na forma de reciclagem”, “Sim, através da reciclagem” e “Sim, são materiais com uma grande durabilidade, podendo ser utilizado. Por esta razão pode-se utilizar várias vezes”. O discurso do aluno A12 mostrou que ele tem consciência de que polímeros geralmente têm uma durabilidade maior que outros materiais, possibilitando assim uma maior reutilização e transformação em novos materiais.

Apenas um aluno relacionou a reciclagem a uma forma de se reduzir a poluição gerada ao meio ambiente. A justificativa trazida pelo aluno A7, “Sim, materiais para reciclagem que reduzam a poluição ambiental”, relaciona que a quantidade de materiais utilizados no dia-a-dia é enorme, bem como seu descarte no meio ambiente. Esse aluno conseguiu relacionar a proposta da atividade realizada à disciplina escolhida para sua aplicação, já que o descarte desses materiais implica em uma consciência ambiental para que se diminuam os impactos causados ao meio ambiente.

Por fim, alguns alunos trouxeram em suas justificativas que a partir da reciclagem novos materiais são obtidos. Os discursos dos alunos A8 e A15 mostram essa categorização: “Sim, por exemplo, as garrafas de refrigerantes podem ser reutilizadas para produzirem outros materiais (A8)” e “Sim, claro. A reutilização de garrafas PET para a confecção de outros materiais como pulf, cadeiras e etc. (A15)”. Em ambos os discursos, os discentes trouxeram a reciclagem de garrafas PET como meio de obtenção de novos materiais, com destaque para a fala do aluno A15 que trouxe o acrônimo PET, que identifica o Poli (tereftalato de etileno). Apenas com este questionário não é possível identificar se o aluno conhece o nome de identificação do polímero ou apenas acrônimo, por este ser mais veiculado em meios de comunicação, incluindo redes sociais.

## **5.2. Análise do Método de Aprendizagem Jigsaw**

O planejamento dessa etapa seguiu conforme descrito na metodologia. Inicialmente, antes do início da aplicação da metodologia, foi feita uma breve abordagem sobre o tema polímeros, discutindo sobre o que é polímeros (características, conceitos, tipos de nomenclaturas), polímeros naturais e sintéticos. Nesse momento foi aberta uma discussão para que os alunos pudessem tirar eventuais dúvidas sobre o conceito

apresentado, alguns alunos participaram de forma espontânea, mostrando interesse pelo tema. A participação do professor da disciplina foi importante, pois possibilitou uma mediação da discussão e trouxe questionamentos pertinentes relacionados à Educação Ambiental.

Como descrito na metodologia, baseado em Cochito (2004), ao propor o método de Aprendizagem Jigsaw, os Grupos Base de Polímeros foram divididos, utilizando deste momento (II) para discussão dos temas de cada grupo. Os textos utilizados para desenvolvimento desta atividade foram entregues previamente para que pudessem fazer a leitura. Os grupos mostraram entrosamento ao desenvolverem discussões sobre o tema, como pode ser observado ao se mediar as discussões, atingindo com isso o objetivo planejado para este momento.

Ao término da discussão dentro de cada GBP, uma tabela/questionário (apêndice B) foi entregue para preenchimento com as informações necessárias e importantes sobre cada eixo pré-estabelecido de especialidades (conceitos gerais, usos e tratamento). Para que os alunos descrevessem esses elementos, foram disponibilizados dois textos específicos, destinados a cada GBP com seu tema central (PET, PEAD, PVC, PEBD, PP e PS), como descrito anteriormente.

No Quadro 9, encontram-se descritos de forma sucinta, utilizando tópicos, os conceitos expostos pelos alunos.

**Quadro 9.** Informações importantes destacadas pelos discentes.

<b>Grupo Base de polímeros – GBP</b>	<b>Conceitos gerais</b>	<b>Usos</b>	<b>Tratamentos</b>
<b>GBP1 (PET)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formação do polímero: reação de polimerização;</li> <li>- Material não-quebradiço;</li> <li>- PET bi-orientado: barreira contra gás.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tecidos; embalagens para refrigerantes, medicamentos; filmes (para adesivos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Totalmente recicláveis;</li> <li>- Após reciclados: vassouras, puff, etc;</li> <li>- Processo de reciclagem mais utilizado: Mecânico.</li> </ul>
<b>GBP2 (PEAD)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parcialmente cristalino;</li> <li>- Não é tóxico (em condições normais)</li> <li>- Como a formação do polímero o mantém unido;</li> <li>- São resistentes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- De acordo com o processo de fabricação: baldes, sacolas plásticas, banheiras infantis, tambores, embalagens de detergentes, cosméticos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conceitos de reciclagem mecânica, química e energética.</li> </ul>

<b>GBP3 (PVC)</b>	- Capacidade de incorporação de aditivos; - Tipos de PVC.	- Embalagens, calçados, construção civil, plastificantes.	- Conceitos de reciclagem mecânica, química e energética. - Processo de reciclagem mais utilizado: Mecânico.
<b>GBP4 (PEBD)</b>	- Inerte a maioria dos produtos químicos; - Formação de grandes quantidades de ramificações a altas pressões e temperaturas; - Alta resistência a impactos.	- Filmes para embalagens industriais e agrícolas; embalagens para produtos farmacêuticos e hospitalares; brinquedos.	- Conceitos de reciclagem mecânica, química e energética.
<b>GBP5 (PP)</b>	- É um termoplástico; - Ampla faixa de propriedades e facilidade de processamento; - Plástico mais vendido do mundo.	- De acordo com o processo de fabricação: potes, tampas, garrafas, reservatórios para veículos, tubos, carpetes e tapetes.	- Processo de reciclagem mais utilizado: Mecânico; - É um dos plásticos mais reciclados.
<b>GBP6 (PS)</b>	- Baixa resistência a solventes orgânicos; - Inodoro; - Pequena absorção de umidade.	- De acordo com o processo de fabricação: peças de rádio e TV, gavetas de geladeira, espuma semirrígida (isopor), isolantes térmicos.	- Conceitos de reciclagem mecânica, química e energética.

Fonte: Produção do autor.

Ao se fazer a análise do Apêndice B, foi observado que os alunos buscaram trazer em cada grupo elementos que julgaram necessários, informações essas que se tornou repetitiva em alguns casos, destacando o eixo tratamento, pois alguns grupos bases trouxeram apenas os conceitos básicos dos tipos de reciclagem (mecânica, química e energética) ou simplesmente a citaram. Os alunos em suas respostas trouxeram elementos interessantes de cada tema central, deixando evidente que realizaram a leitura do material disponibilizado.

O momento III foi realizado no dia seguinte ao momento II. Foi solicitado para que os alunos formassem o grupo base estabelecido anteriormente, revisassem o conteúdo discutido no dia anterior, para que então fosse realizada a divisão dos especialistas. Para a formação do grupo de Especialistas, foi seguido o modelo descrito na Tabela 2, promovendo-se uma única troca de um integrante da especialidade (por exemplo, uma pessoa do grupo 1 trocou de lugar com uma pessoa do grupo 2 de uma mesma especialidade) de forma que houvesse uma interação de todos os tipos de polímeros.

Quinze alunos participaram do momento III, distribuídos em suas especialidades (Conceitos Gerais, Usos e Tratamento). Durante esse momento, na tentativa de reunir integrantes de uma mesma especialidade, houve tumulto dentro da sala de aula dificultando assim o desenvolvimento da metodologia. A falta de alguns integrantes também interferiu no desenvolvimento da atividade, pois neste momento foi necessário adaptar os grupos de Especialistas. Como os alunos já haviam discutido anteriormente com o grupo base, deram suporte nos grupos de especialistas ajustando assim a metodologia proposta e contribuindo para que todos tivessem contato com os temas centrais. Como exemplo, no caso do GBP5 (PP), do qual faltaram dois integrantes, o único aluno presente conseguiu discutir e transmitir as informações de sua especialidade (e também dos demais integrantes que faltaram) para os demais grupos de especialistas.

Ao serem analisados os questionários 3, 4 e 5 (Apêndices C, D e E) dos grupos de Especialistas, foi observado que os alunos colocaram as descrições muito sucintas, muito resumidas e até um pouco confusas, pois ficou a impressão de que estava faltando algo para completar as respostas, já que pouquíssimos as organizaram em tópicos.

O início do momento III ocorreu conforme planejado. Ao passar pelos grupos e mediar às discussões, os alunos mostraram interesse e discutiram sobre seus temas, e em alguns casos, eles elencaram proximidades e distanciamentos nos conceitos gerais entre os temas motivadores. Contudo, depois foi necessário intervir e pedir agilidade aos Grupos de Especialistas para que fosse possível o desenvolvimento da atividade naquele dia, que por conta do tempo restrito poderia não ser concluída se a discussão fosse prolongada. A partir disso se tornou uma corrida contra o tempo para se concluir a atividade na quantidade de aulas disponibilizadas pelo professor.

Nas especialidades Conceitos Gerais e Usos, os questionários apresentavam uma mesma pergunta, “*Todos os polímeros apresentam propriedades iguais?*”, e a partir disso foi obtido o Gráfico 7:

**Gráfico 7.** Concepção dos alunos acerca das propriedades dos polímeros.



Fonte: Produção do autor.

A partir da análise do Gráfico 7, os alunos nesta questão, em sua maioria, identificaram que os polímeros estudados não apresentam propriedades iguais, já que a partir do referencial teórico trazido anteriormente, diversas são as características, sejam elas conformação, estruturas, tipos de monômeros entre outros, que determinam o polímero e suas propriedades. Os alunos que afirmaram que sim, trouxeram em suas respostas que não são totalmente iguais, mas sim semelhantes, a mesma resposta que outros apresentaram ao afirmarem que não. Os alunos perceberam essa semelhança ao tomar como base o aspecto visual dos polímeros abordados, associando a alguns de seus usos e propriedades incomuns, como serem semicristalinos.

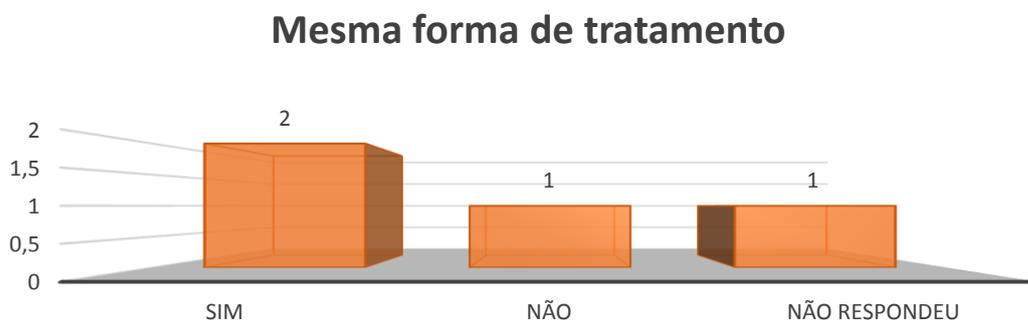
Essas observações ficam evidentes nas falas dos alunos A2, A6 e A7, ao trazerem em seus discursos que “Não, mas têm algumas propriedades semelhantes.”, “Não porém são bem semelhantes.” e “Sim, pois tem características semelhantes, como transparente, flexível e etc.”. Nestes discursos é possível notar essa associação com o aspecto visual dos polímeros trabalhados, ficando evidente e se relacionando com a pergunta 3 desses mesmos questionários “*Quais as principais semelhanças e diferenças entre esses polímeros?*”, onde os alunos completaram uma pergunta a outra, trazendo falas que trazem essas propriedades semelhantes como flexibilidade, utilização, resistência e facilidade de incorporação de cores. Isso mostra que esses alunos já conseguem identificar elementos diferentes ao serem questionados sobre polímeros.

Os especialistas em Usos, trouxeram em suas respostas usos para os polímeros antes e após o processo de reciclagem, não os diferenciando. A partir do referencial teórico é possível destacar que a utilização do polímero após o processamento de reciclagem pode mudar. Os alunos afirmaram isso nas discussões do grupo de

especialistas de forma a deixar claro essa informação para todos os demais, trazendo exemplos também para reforçar essa informação. O GBP1 (PET) trouxe o exemplo da garrafa de refrigerante, que ao ser processada para ser reutilizada, pode ser transformada em vassouras, enquanto o GBP5 (PS) trouxe os exemplos dos utensílios domésticos, que após o processamento, podem virar baldes. Esses exemplos utilizados por esses especialistas evidenciam a preocupação em interagir com os demais, para reforçar essa diferença. A participação na aprendizagem dos colegas, utilizando exemplos para fixar essa diferença entre cada um fica evidente, cumprindo assim o objetivo da aprendizagem colaborativa: alunos aprendendo uns com os outros a partir de um determinado conhecimento compartilhado.

No Gráfico 8 está descrita a categorização para a pergunta “*Todos os polímeros apresentam a mesma forma de tratamento?*”. Foi observado neste grupo de especialistas que 2 alunos não estavam presentes para realização desse momento da atividade, totalizando 4 alunos de um total previsto de 6 (Gráfico 8).

**Gráfico 8.** Se os polímeros estudados apresentam mesma forma de tratamento.



Fonte: Produção do autor.

É possível observar que os alunos que responderam a esta questão afirmando que os polímeros estudados apresentam a mesma forma de tratamento tiveram como base o texto de divulgação que foi passado, já que os dados que o texto traz são para os tipos de reciclagem mais utilizados no Brasil. Na tabela presente no questionário desse grupo de especialistas, colocaram em sua maioria os três processos de reciclagem desses materiais, dando ênfase ao processo de reciclagem mecânica que é o mais utilizado no Brasil para a maioria dos polímeros estudados.

Ao fazer a análise dessas tabelas dos especialistas em tratamento, foi perceptível a diferenciação que os alunos fizeram quanto a esses processos, deixando evidente que eles conseguiram identificar no texto as etapas de seu processamento para a reutilização desses materiais após o descarte. Tornando possível fazer relação com o que Rocha e cols (2013, p. 24) trazem em seu discurso, “quanto maior for o consumo dos polímeros, maior será a quantidade de resíduos descartados, e a aplicação do processo de reciclagem é a alternativa para evitar a poluição ambiental”.

O especialista do GBP1 (PET) conseguiu identificar esses processos e passou de forma clara para os demais especialistas: “O PET é totalmente reciclável, no Brasil se utiliza o processo mecânico para seu processamento e obtenção de novos materiais, ele passa por todas as etapas desse processo”, essa resposta foi trazida pelos alunos A12, A13, A14 e A15. Todos os alunos apresentaram a mesma resposta, e isso pode ser explicado em decorrência do pouco tempo para o desenvolvimento do final da atividade, fazendo com que eles apenas copiassem uns dos outros. Quando o aluno trouxe o trecho “ele passa por todas as etapas desse processo”, quis se referir às etapas do processo trazidas no Quadro 6.

O especialista do GBP3 (PVC) conseguiu identificar elementos semelhantes e novamente todos os alunos deste grupo trouxeram a mesma resposta: “Passa pelo processo mecânico para ser reutilizado e também existe lugar no Brasil que também faz o processo químico no PVC descartado, esse processo é mais caro”. Esses alunos conseguiram trazer em suas respostas aspectos econômicos, uma vez que tanto a mão de obra quanto os equipamentos para a reciclagem mecânica são mais acessíveis para a indústria em termos financeiros que a reciclagem química, já que teria que se utilizar diversos reagentes e equipamentos específicos dependendo do polímero que se deseja reciclar.

Os demais especialistas trouxeram em suas respostas apenas de forma sucinta os processos de reciclagem: Mecânico, Químico e Energético. Os alunos compreenderam que os polímeros estudados podem passar por esses três processos para serem reutilizados de forma segura e de boa qualidade. Durante a discussão no grupo de especialistas em tratamento, foi possível ver a preocupação dos alunos ao discutirem sobre esses processos, e deixarem claro para todos que surgiram dúvidas durante essas discussões. Qual processo de tratamento é mais adequado para cada polímero dependerá da região,

do processo que será utilizado, das propriedades e dos componentes desses polímeros e do custo/benefício para obtenção de novos materiais.

O retorno dos especialistas aos seus respectivos grupos bases marcou o fim do Método Jigsaw (momento IV). Neste momento, os alunos retornaram aos seus grupos com a missão de transmitir/compartilhar todo o conteúdo que aprenderam com os demais especialistas para seu grupo base inicial. Durante esse momento, eles retornaram ao grupo eufóricos e com muita pressa para realizar a discussão do que aprenderam, contudo mais uma vez o tempo curto para o desenvolvimento dessa atividade interferiu na discussão inicialmente proposta.

Os grupos bases ao final do processo, preencheram uma tabela comparativa com todas as características dos demais polímeros. Na análise dessas tabelas (Apêndice F), foi possível perceber a quantidade de informação que esses grupos conseguiram reunir. Cada grupo base conseguiu reunir todas as informações do Quadro 9 em sua tabela comparativa, de forma que ao discutirem (mesmo que de forma breve) sobre suas especialidades, todos os alunos demonstraram que aprenderam sobre os demais tipos de polímeros.

Como traz Silva e Soares (2013), os alunos foram incitados a colocar seu conhecimento à prova em diversos momentos, fazendo registrar por mais tempo esse conteúdo visto em sala de aula, não o tornando decorativo como normalmente ele é. A cada momento os alunos traziam novas informações para a discussão e realizaram pesquisas nos materiais disponibilizados para enriquecer o conhecimento obtido e passar esse conhecimento para os demais colegas.

Foi solicitado a cada aluno da disciplina que levasse para a sala de aula materiais poliméricos do dia-a-dia relacionados aos seus temas centrais. Os alunos levaram diversos materiais que serviram para que eles reconhecessem os diversos tipos de polímeros. Em cada grupo base foi realizada uma discussão para identificação dos materiais e destaque das principais características de cada um, os alunos exerceram um papel importante na construção desse saber conjunto, pois houve materiais que eles sentiram dificuldades em identificar e os demais os ajudaram.

Ao final da atividade, ao serem questionados pelo professor da disciplina sobre a metodologia, os alunos elencaram pontos positivos para utilização desse método de aprendizagem, pois ficou fácil a compreensão do conteúdo e aumentou a relação social entre o grande grupo.

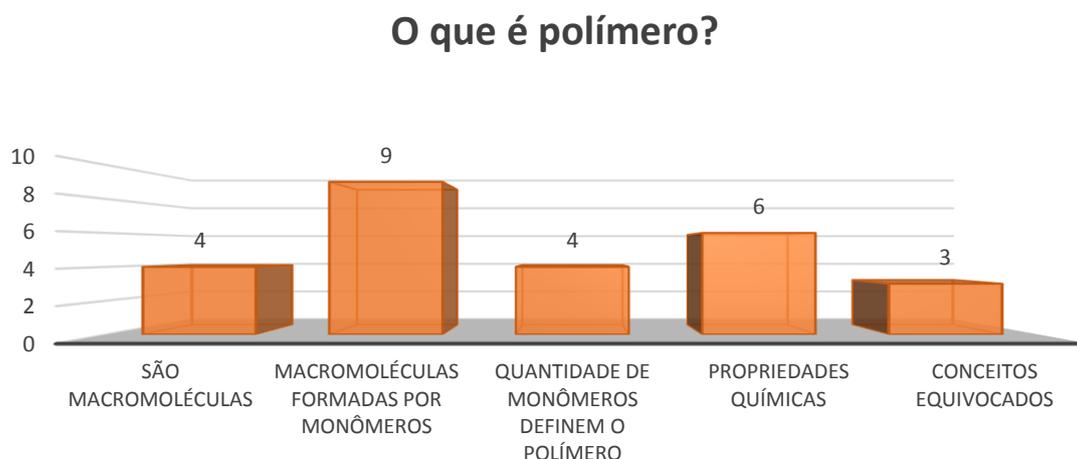
Os discentes destacaram também a associação do tema polímeros à Aprendizagem colaborativa, utilizando o método Jigsaw, pois para eles esse tema tratava-se apenas memorizar e com isso tornou-se mais dinâmico e possibilitou uma maior compreensão do conteúdo, ou seja, uma forma de incentivo, já que buscaram aprender para poder ensinar para os demais colegas. Em uma conversa informal com um aluno, o mesmo informou que aprendeu bastante com esse momento e que a partir da atividade ia começar a ficar atento em identificar os plásticos, olhando seus rótulos.

Os alunos mostraram uma interação com os demais, aprenderam uns com os outros e melhoraram a relação social entre eles. Em contrapartida, o desenvolvimento dessa atividade foi prejudicado em termos de discussão entre os especialistas e no retorno aos grupos bases, pois o tempo disponibilizado a tornou breve, teve que ser agilizada para se adequar ao tempo e poder ser concluída como planejado inicialmente. Para o melhor desenvolvimento da atividade, deveria acontecer em mais uma ou duas aulas, a fim de que todos os alunos discutissem sobre suas especialidades com calma e a atividade não se tornasse mecânica com apenas a leitura das tabelas ao final.

### **5.3. Verificando as concepções finais dos alunos: Análise do pós-teste**

O questionário após a atividade, o pós-teste (Apêndice G), foi adaptado do questionário pré-teste adicionando-se uma questão, resultando em um total de 6 questões. Neste momento os alunos demonstraram que conseguiram assimilar o conteúdo proposto.

Na primeira questão apresentada, “*Defina/Conceitue/Explique o que é um polímero*”, foi possível, a partir das respostas dos alunos, identificar as categorizações que são descritas no Gráfico 9:

**Gráfico 9.** Principais categorizações.

Fonte: Produção do autor.

Ao se comparar os gráficos 9 e 2, foi possível perceber que os alunos demonstram maior conhecimento sobre o conteúdo de polímeros, uma vez que no Gráfico 9 as respostas apresentadas são mais elaboradas e com maior propriedade sobre o tema. Os alunos passaram a citar plástico como exemplo de polímero, deixando a concepção anterior de que polímero era apenas plástico.

As categorizações mostraram que alguns alunos trouxeram em suas falas que os polímeros são apenas macromoléculas, mantendo o conceito inicial, porém com uma quantidade menor de alunos em relação ao primeiro questionário. Isso pode ser explicado pelo fato de alguns alunos não terem participado do momento introdutório da atividade, ou até mesmo não ter prestado atenção a esse conceito na leitura do material disponibilizado para o desenvolvimento da atividade.

Um percentual maior de alunos mostrou uma evolução na afirmação do conceito, ao trazer em seus discursos a existência de monômeros na formação das cadeias poliméricas, uma vez que FERREIRA e cols (2007) trazem essa afirmação. Na Tabela 5 estão algumas falas dos alunos ficando evidente essa afirmação.

**Tabela 5.** Discursos dos alunos.

Aluno	Definição
A1	“São macromoléculas formadas por monômeros.”
A3	“Polímero são compostos por sequências de monômeros e os elementos desses monômeros é que definem o polímero.”

<b>A7</b>	“Os polímeros são macromoléculas caracterizadas por seus tamanhos, constituídos por monômeros.”
<b>A8</b>	“São macromoléculas, formadas por monômeros (unidades iguais ou diferentes).”

Fonte: Produção do autor.

Dessas definições apresentadas pelos alunos, destacam-se as falas dos alunos A3 e A8, ao trazerem em suas respostas que as sequências, quantidades e tipos desses monômeros interferem no tipo de polímero formado. Esses alunos trouxeram em suas respostas, de forma indireta, os conceitos de homopolímero (apenas uma espécie igual de monômero) e copolímeros (diferentes espécies de monômeros), já abordando a outra categorização que foi encontrada, de que as quantidades desses monômeros vão definir o tipo de polímero, suas características, propriedades e aplicações.

Definições que remetem às propriedades dos polímeros também ficaram evidentes, como as interações que acontecem entre as unidades monoméricas. As definições dos alunos A6 e A12, respectivamente, deixam evidente essa observação: “São macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, sua estrutura química e suas interações moleculares” e “Polímeros são formados por monômeros ligados entre si por ligações covalentes, que formam macromoléculas”. Nesses discursos, os discentes tentaram trazer esses conceitos, onde fica evidente o interesse de mostrar como essas ligações ocorrem e o que mantém essas moléculas unidas para formar uma macromolécula, já que estas tem um alto peso molecular.

Definições equivocadas também foram notadas, houve uma confusão no momento de formar as respostas, não ficando totalmente claro o conceito. Os alunos A10, A14 e A15, não conseguiram trazer o conceito de polímero de forma correta. Na Tabela 6 isso pode ser observado:

**Tabela 6.** Falas dos alunos.

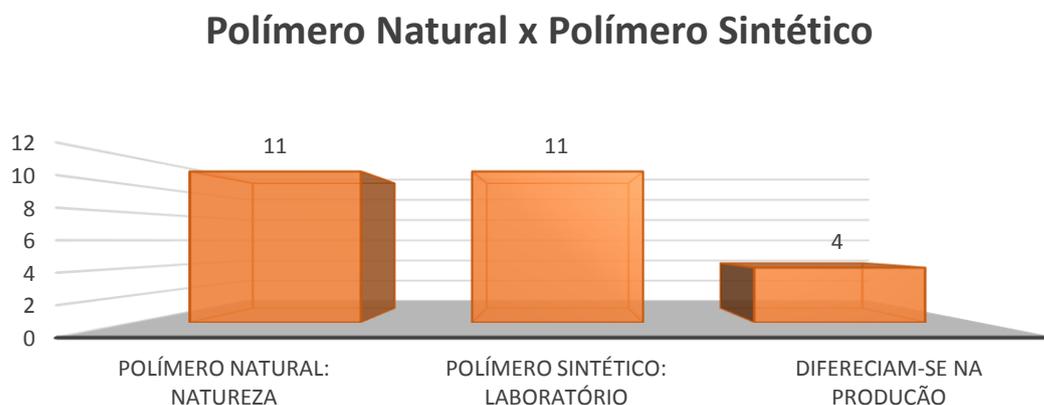
<b>Aluno</b>	<b>Definição</b>
<b>A10</b>	“Monômeros que contém macromoléculas.”
<b>A14</b>	“Polímero são tipos de resíduo que constitui os plásticos.”
<b>A15</b>	“Polímero são substâncias que servem para fabricar o plástico.”

Fonte: Produção do autor.

Nessas definições, é percebido que ainda ficaram dúvidas sobre polímeros e o conceito não ficou tão claro para esses alunos. Isso pode ser esclarecido pois esses alunos não participaram de todos os momentos da atividade.

Na questão 2, o intuito foi de que os alunos diferenciasssem os polímeros sintéticos dos naturais, através da pergunta “Qual a diferença entre polímero natural e polímero sintético?”. As principais categorizações estão demonstradas no Gráfico 10.

**Gráfico 10.** Categorização quanto a diferença entre polímero natural e polímero sintético.



Fonte: Produção do autor.

Os alunos em suas respostas, apenas trouxeram aquelas categorizadas no gráfico, não deixando evidente a discussão da questão, a não ser o fato de apresentarem exemplos de cada um dos tipos. Na Tabela 7 estão algumas respostas dos alunos:

**Tabela 7.** Diferença entre polímeros natural e sintético.

Aluno	Definição
A1	“Polímero natural é encontrado na natureza, enquanto o sintético é sintetizado no laboratório.”
A3	“Polímeros naturais são aqueles que estão presentes em seres vivos, ou encontrados na natureza. Já os sintéticos são sintetizados em laboratório.”
A6	“Polímeros naturais ocorrem na natureza, como a celulose, as fibras de algodão e os sintéticos são produzidos em laboratório, tipo o PET, PVC, OS, PEAD, PEBD.”
A9	“Polímero sintético é produzido em laboratório, e os naturais são formados de forma natural.”
A4	“Sua produção. Os sintéticos são industriais.”
A13	“A diferença está no meio de produção.”

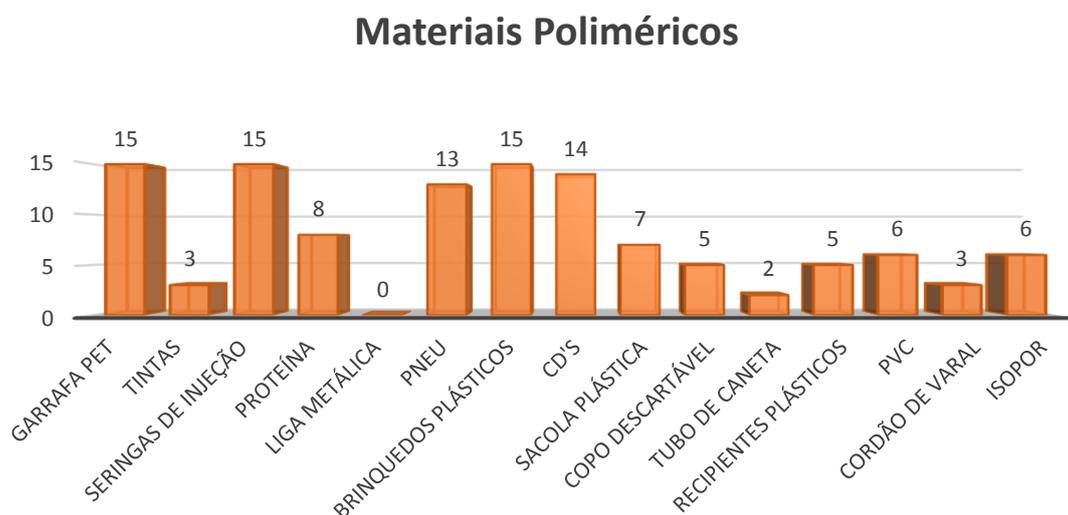
Fonte: Produção do autor.

Nas falas apresentadas na Tabela 7, são destacadas inicialmente as dos alunos A3 e A6, ao trazerem elementos diferentes para a discussão. Ambos identificaram que os polímeros naturais estão presentes na natureza e em seres vivos, são macromoléculas que são encontradas em nosso corpo, nas plantas, em animais, em tudo que há vida, e que

polímeros não se detêm apenas aos plásticos como eram as concepções iniciais que os alunos apresentaram. Os polímeros sintéticos, como bem destacaram, são produzidos em laboratório, podendo assim haver controle de suas propriedades, sintetizar determinado polímero para a aplicação e função desejada, podendo esses polímeros sintéticos também serem sintetizados como reprodução a polímeros naturais. Essas diferentes características entre polímeros naturais e sintéticos quanto à sua produção foram trazidas pelos alunos A4 e A13.

Ao serem analisadas as questões 3 e 4 (que são idênticas às do pré-teste), “Cite três polímeros usados no dia-a-dia” e “Assinalar quais materiais são considerados polímeros”, o Gráfico 11 foi obtido após a atividade:

**Gráfico 11.** Materiais poliméricos.



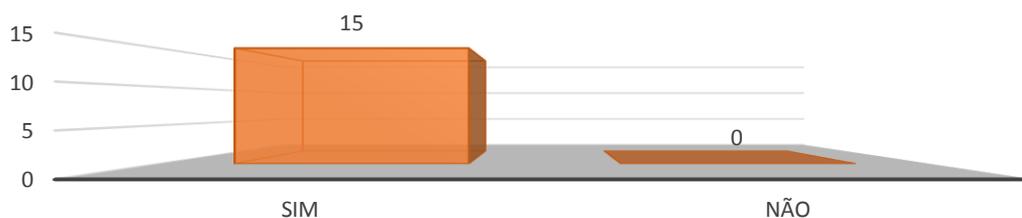
Fonte: Produção do autor.

Ao serem comparados os Gráficos 11 e 4, um avanço dos alunos ao reconhecerem os materiais poliméricos da questão 4 foi observado. Eles conseguiram identificar alguns tipos de polímeros como PET (Garrafa PET, cordão de varal), PS (isopor, caixas de CD's), PP (recipientes plásticos, tubo de caneta, seringas de injeção, copos descartável), PEAD (brinquedos plásticos, sacolas plásticas), PVC (canos de PVC), etc. Os alunos também trouxeram novos exemplos válidos para a questão 3, como tubo de uma caneta e o cordão de varal, que anteriormente eles nem sabiam que eram polímeros.

Na questão 5, com a pergunta “*É possível reutilizar materiais poliméricos? Justifique sua resposta.*”, o Gráfico 12 foi obtido:

**Gráfico 12.** Percepção dos alunos quanto a possibilidade de reciclagem dos polímeros.

### Se é possível a reutilização de materiais poliméricos

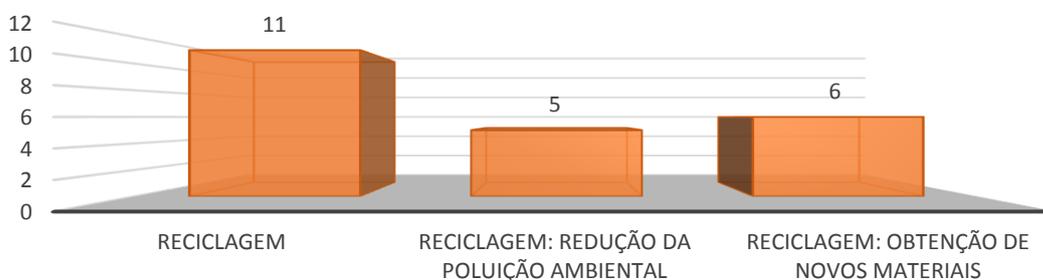


Fonte: Produção do autor.

Comparando-se o Gráfico 12 com o Gráfico 5, houve o aumento de um aluno que considerava possível se reutilizar e reciclar materiais poliméricos, mantendo assim uma ótima perspectiva, uma vez que essa atividade também é uma forma de conscientização para a separação de materiais plásticos descartados no lixo. Ao serem analisadas as justificativas dos alunos para essa questão, as mesmas categorizações foram observadas (Gráfico 13).

**Gráfico 13.** Categorizações feitas a partir das respostas dos discentes.

### Categorias



Fonte: Produção do autor.

As categorizações analisadas no Gráfico 13 e comparadas com o Gráfico 6, mostraram que houve um aumento no número de respostas em todas as categorizações. Os alunos ainda continuam descrevendo de forma sucinta a respeito da reciclagem, como visto nas falas dos alunos A1, A2, A15, que trazem o mesmo argumento: “Sim, através da reciclagem”.

Aumentou também o número dos alunos que justificaram numa perspectiva relacionada à Educação Ambiental, que é a proposta da disciplina, Eles mostraram que é possível fazer uma ponte entre esse conteúdo (polímeros) com a proposta da disciplina (educação ambiental). Os alunos A6 e A8 trazem essa discussão em suas justificativas, respectivamente: “Sim, pois são ou tem uma duração longa e poluem o ambiente” e “Sim, com a reciclagem diminuem-se os danos causados ao meio ambiente, a durabilidade dos plásticos são grandes e devesse conscientizar para possibilitar a reciclagem”. Ambos os alunos relacionaram a importância da reciclagem à durabilidade desses materiais e aos danos que causam ao meio ambiente. Foi notado o interesse deles ao perceberem a importância de separação de lixo plástico para facilitar e possibilitar uma reciclagem de materiais adequada para cada tipo de polímero.

Seis alunos trouxeram associado ao termo reciclagem a possibilidade de obtenção de novos materiais, como bem disse Spinacé (2005), sobre a importância de se reciclar e assim aumentar tanto a vida útil dos aterros sanitários de nossas cidades, quanto utilizar matérias reciclados com qualidade, tirando essas matérias dos aterros e proporcionando uma nova aplicação ao polímero. Na tabela 8 estão algumas justificativas dos alunos A3, A7 e A9:

**Tabela 8.** Justificativas dos alunos para a questão 5.

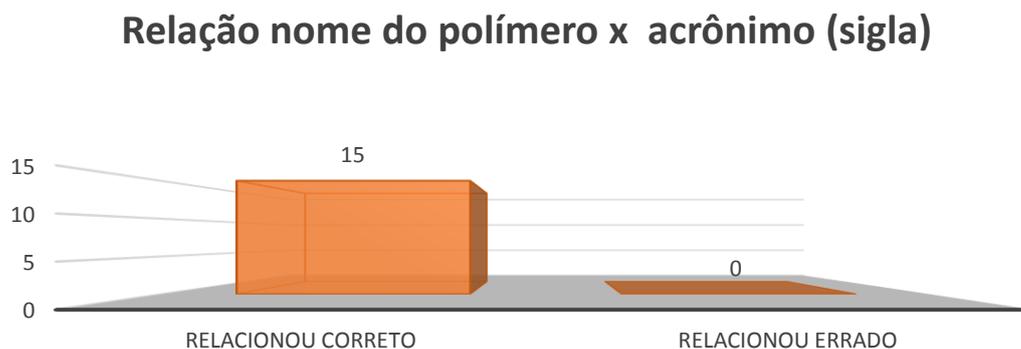
<b>Aluno</b>	<b>Justificativa</b>
<b>A3</b>	“Sim, por possuir características que permita tal processo, o PET principalmente é o material polimérico mais reutilizado.”
<b>A7</b>	“Sim, alguns quando separados adequadamente são recicláveis, podendo ser reutilizados para outros fins.”
<b>A9</b>	“Sim. A maioria dos polímeros são recicláveis, a pesar que a maioria vai parar em lixões.”

Fonte: Produção do autor.

Esses alunos têm a consciência de que é necessário separar corretamente os materiais poliméricos, como discutido anteriormente.

Foi acrescentado a esse questionário pós-teste a questão 6, com intuito de verificar se os alunos conseguiam identificar e associar o nome do polímero ao seu acrônimo (sigla), como é mais conhecido. No Gráfico 14 está demonstrada a análise obtida da questão.

**Gráfico 14.** Relação nome do polímero x acrônimo.



Fonte: Produção do autor.

No Gráfico 14 fica claro que todos os alunos conseguiram fazer a associação e relacionaram corretamente o nome do polímero ao seu acrônimo (sigla). A partir dessa informação fica evidente que toda a discussão gerada durante a atividade foi significativa e mostra também que os alunos aprenderam algo sobre o tema.

Ao serem comparados os resultados obtidos no pré-teste com o pós-teste, ficou demonstrada a evolução dos alunos diante do conteúdo, servindo de aprendizado para suas vidas, tanto como cidadãos quanto como futuros educadores.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização deste método de ensino diferenciado proporcionou um melhor aprendizado aos alunos, pois eles tiveram que aprender primeiro o conteúdo para depois transmitir/compartilhar para seus colegas, motivando-os a buscar mais informações sobre suas especialidades. Assim atividades colaborativas no formato Jigsaw mostram que é possível utilizar meios diferenciados, além do tradicional meio de ensino/aprendizagem para o estudo de polímeros, no Ensino Superior.

Ainda é possível, a partir da utilização da aprendizagem colaborativa proposta por Cochito (2004), descentralizar a atenção e responsabilidade da aprendizagem apenas pelo professor, deixando os alunos autônomos para buscarem sua própria aprendizagem e responsáveis por ela. Todavia o professor deve incentivar a participação de todos os alunos durante as discussões e promover questionamentos para que eles sejam incitados a pensar sobre o conteúdo visto, promovendo responsabilidades individuais e em grupo, melhorando assim a compreensão dos conceitos.

A partir da análise e comparação dos resultados obtidos dos questionários pré-teste e pós-teste, fica evidente a evolução dos alunos quanto aos conceitos prévios que apresentaram. Os conceitos prévios que os alunos apresentaram eram restritos e sem fundamento teórico, apenas conhecimento do senso comum e associados a materiais poliméricos do dia a dia como a garrafa PET. Com a atividade realizada é possível verificar com o pós-teste que os alunos já apresentam uma maior maturidade para discutir sobre o assunto e já formaram um conceito concreto sobre polímeros, bem como diferenciar suas propriedades.

Durante a aplicação da atividade, foi possível perceber e visualizar o empenho dos alunos em discutir com os demais e transmitir o conteúdo adquirido. Também ficou evidente as interações estabelecidas entre os alunos e o envolvimento com a atividade em grupo, promovendo assim as relações sociais e deixando de lado o individualismo em sala de aula, possibilitando o desenvolvimento das condições propostas por Johnson e cols (1999), para que a aprendizagem colaborativa seja eficiente e produtiva, promovendo assim as habilidades dos alunos.

O fato de que alguns alunos apresentaram respostas iguais ou semelhantes no preenchimento das tabelas/questionários de cada momento, pode ser explicado em

decorrência do pouco tempo para o desenvolvimento da atividade, fazendo com que os alunos apenas copiassem uns dos outros o que foi solicitado nas tabelas/questionários. Para um bom desenvolvimento, seria importante um quantitativo a mais de horas/aula para que a atividade fosse realizada com calma e os alunos pudessem discutir mais detalhadamente cada momento. Apesar dessa dificuldade encontrada no desenvolvimento da atividade, os resultados obtidos mostram que é viável fazer uso desse método em sala de aula, mas que o mesmo deve ser bem planejado para que os alunos obtenham benefícios e aprendam com a proposta.

Por fim, o que se percebeu com o uso da aprendizagem colaborativa (método Jigsaw) relacionada à temática dos polímeros (conceitos, usos e tratamentos), abordados na proposta inicial, foi que os alunos conseguiram identificar e reconhecer os diversos tipos de polímeros, suas formas e códigos de reciclagem assim como sua reutilização, além de suas propriedades/conceitos mais notáveis. Isto possibilitou uma forma diferenciada de levar o conteúdo de polímeros para a sala de aula e relacioná-lo a uma questão importante que é a conscientização ambiental dos impactos que esses materiais podem provocar ao serem descartados no meio ambiente sem o devido cuidado.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724-2011: informação e documentação - trabalhos acadêmicos - apresentação**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <[http://unicentroagronomia.com/destino\\_arquivo/nbr\\_14724\\_apresentacao.pdf](http://unicentroagronomia.com/destino_arquivo/nbr_14724_apresentacao.pdf)> Acesso em: 05 de Janeiro de 2016.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 3.ed. Lisboa: Edições 70, 1977.

CAREY, F. A. **Química Orgânica**. Vol 2. 7.ed. – Porto Alegre: AMGH, 2011.

COCHITO, M. I. S. **Cooperação e aprendizagem: educação intercultural**. Lisboa: ACIME, 2004. p.180.

COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. S. Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. p. 154-197. (Métodos de pesquisa).

DATASHEET. VICK. **POLIESTIRENO - PS/PSAI**. 2013. Disponível em: <<http://www.vick.com.br/vick/novo/datasheets/datasheet-PS-PSAI.pdf>> Acesso em: 03 de Outubro de 2015.

DIAS, A. G. Fique por Dentro: Polímeros Naturais. **Jornal de Plásticos**. Jornal de plásticos online. Rio de Janeiro – Julho de 2004. Disponível em: <<http://www.jorplast.com.br/jpjul04/pag24.html>> Acesso em: 01 julho 2015.

FATARELI, E. F.; FERREIRA, L. N. de A.; FERREIRA, J. Q.; QUEIROZ, S. L. Método Cooperativo de Aprendizagem Jigsaw no Ensino de Cinética Química. **Química Nova na Escola**, Vol. 32, n.3, p. 161-168, agosto - 2010.

FELTRE, R. **Química: química orgânica**. 6. Ed. V.3. São Paulo: Moderna, 2004.

FERREIRA, M.; MORAIS, L.; NICHELE, T.Z.; PINO, J.C.D. **Química Orgânica**. Porto Alegre: Artmed, 2007. (Coleção Práticas Pedagógicas para o Ensino Médio).

FONSECA, M. R. M. da. **Química: o meio ambiente, cidadania e tecnologia**. 1. Ed. V.3. São Paulo: FTD, 2010. p. 283.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. A importância das propriedades físicas dos polímeros na reciclagem. **Química Nova na Escola**. n. 18. p. 42-45. Novembro - 2003.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**. Vol. 29, n. 4, p. 811-816, 2006.

GIL, A. C. **Como elaborar Projetos de pesquisa**. 4 edição. São Paulo: Atlas, 2002.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**. v. 35, n. 3, p. 20-29, 1995.

HAGE JR. E. Aspectos Históricos sobre o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia de Polímeros. **Polímeros: Ciência e Tecnologia** - Abr/Jun - 1998 *apud* MORAWETZ, H. *Polymers: The Origins and Growth of a Science*. Editora **John Wiley & Sons** - 1985.

IUPAC. Disponível em: <<http://www.iupac.org/>> Acesso em: 03 julho 2015.

JOHNSON, D.W.; JOHNSON, R.T. e HOLUBEC, E.J. *Los nuevos círculos del aprendizaje: la cooperación en el aula y la escuela*. Virginia: Aique, 1999.

LEITE, I. S.; LOURENCO, A. B.; LICIO, J. G.; HERNANDES, A. C. Uso do método cooperativo de aprendizagem Jigsaw adaptado ao ensino de nanociência e nanotecnologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol.35, n.4, p. 1-7. ISSN 1806-1117, 2013.

LONTRA, B. G. F. Reciclagem mecânica de polietileno de alta densidade obtido a partir de sacolas plásticas. 2011. 44f. **Monografia** (Engenharia de Materiais). Rio de Janeiro – RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. p. 190-196.

MARTINS, F. H. S. O Futuro Biodegradável. 2011. 56 f. **Monografia** (Tecnologia em Polímeros). Sorocaba – SP: Faculdade de Tecnologia de Sorocaba.

NASCIMENTO, K. T. O. Método colaborativo de aprendizagem Jigsaw no ensino de função inorgânica. 2015. 81f. **Monografia** (Licenciatura em Química). Caruaru – PE: Universidade Federal de Pernambuco.

PEREIRA, F. S. G. **Polímeros, fundamentos científicos e tecnológicos**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. 2009. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/63577905/Livro-Polimeros>> Acesso em: 30 de Setembro de 2015.

PEREIRA, R. C. C.; MACHADO, H. A.; SILVA, G. G. (Re) Conhecendo o PET. **Química Nova na Escola**. n.15, p. 3-5, maio – 2002.

ROCHA, C. A.; SILVA, E. F.; SOUZA, R. C. C. Polímero de entretenimento: uma macromolécula biodegradável. 2013. 91f. **Monografia** (Bacharelado em Química). Lins – SP: Centro Universitário Católico Salesiano *Auxilium* – UNISALESIANO.

RODRIGUES, T. S. Polímeros naturais e sintéticos: uma abordagem das características a partir de uma transposição didática. 51 f. p. 23, 2012. **Monografia** (Licenciatura em Química). Brasília – DF: Universidade de Brasília.

ROMÃO, W.; SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. Poli (Tereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 19, n.2, p. 121-132, 2009.

SANTOS, A. C. Estudo da reciclagem do poli (tereftalato de etileno) – PET pós-consumo e de suas propriedades, quando submetido à radiação ionizante. 2008. **Dissertação** (Tecnologia Nuclear-Aplicações). São Paulo – SP: Autarquia Associada à Universidade de São Paulo.

SHACKELFORD, J. F. Introdução à ciência de materiais para engenheiros. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

SILVA, A. L.B. B.; SILVA, E. O. Conhecendo materiais poliméricos. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Instituto de Ciências Exatas e da Terra. Mato Grosso do Sul – 2003. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/ea000223.pdf>> Acesso em: 04 julho de 2015.

SILVA, C. R. Propriedades mecânicas de blendas de polipropileno com polietileno de ultra alto peso molecular. 2013. 99f. **Dissertação** (Engenharia de Materiais). Belo Horizonte – MG: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

SILVA, V.A.; SOARES, M. H. F. B. Conhecimento Prévio, Caráter Histórico e Conceitos Científicos: O Ensino de Química a Partir de Uma Abordagem Colaborativa da Aprendizagem. **Química Nova na Escola**, Vol.35, n.3, p. 209-219, agosto - 2013.

Simbologia para identificação de materiais. Disponível em <<http://www.planetaplastico.com.br/literatura/literatura/simbol.htm>> Acesso em: 01 de Outubro de 2015.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, Vol.28, n.1, p. 65-72, 2005.

TEODORO, D. L. **Aprendizagem Cooperativa no ensino de química: investigando uma atividade didática elaborada no formato Jigsaw**. 2011. 120 f. Dissertação (Mestrado). São Carlos: Universidade de São Paulo.

VERONESE, V. B. Desenvolvimento e avaliação de propriedades de misturas de poliestireno (PS) e copolímeros em bloco Estireno-Butadieno-Estireno (SBS). 2013. 94f. **Dissertação** (Ciência e Tecnologia dos Materiais). Porto Alegre – RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

WAN, E.; GALEMBECK, E.; GALEMBECK, F. Polímeros Sintéticos. In: Cadernos temáticos de Química Nova na Escola. **Química Nova na Escola**. Edição especial, n.2, p. 5-8, maio – 2001.

ZAIONCZ, S. estudo do efeito de plastificação interna do PVC quimicamente modificado. 2004. 73f. **Dissertação** (Química Orgânica). Curitiba – PR: Universidade Federal do Paraná. Disponível em:  
<<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/3513/SoraiaZaionczB.pdf;jsessionid=1F7277E69FBDE8A8DD4C6CFAD4C87F57?sequence=2>> e <  
<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/3513/SoraiaZaionczA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 03 de Outubro de 2015.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Questionário 1



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

#### *Questionário 1*

1. Você sabe o que é polímero?  
 Sim. Explique.  Não

---

Caso não saiba, mas tenha alguma ideia sobre polímeros, tente responder as questões a seguir:

2. Você sabe qual é a classificação básica de polímeros?  
 Sim. Qual é?  Não

- 
3. Cite três polímeros usados no dia-a-dia.

- 
4. Assinale abaixo quais materiais são considerados polímeros:

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Garrafa de refrigerante | <input type="checkbox"/> Liga metálica        |
| <input type="checkbox"/> Tintas                  | <input type="checkbox"/> Pneu                 |
| <input type="checkbox"/> Seringas de injeção     | <input type="checkbox"/> brinquedos plásticos |
| <input type="checkbox"/> Proteína                | <input type="checkbox"/> Cd's                 |

5. É possível reutilizar materiais poliméricos? Justifique sua resposta.
-

**APÊNDICE B – Questionário 2**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

***Questionário 2***

1. Polímero que foi estudado:

---

2. De acordo com a leitura realizada preencha o quadro a seguir:

Polímero	Conceitos Gerais	Usos	Tratamento

**APÊNDICE C – Questionário 3**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

***Questionário 3***

1. Todos os polímeros apresentam propriedades iguais?

---

2. De acordo com os conceitos gerais preencha o quadro a seguir:

Polímero	Conceitos Gerais
<b>PET</b>	
<b>PEAD</b>	
<b>PVC</b>	
<b>PEBD</b>	
<b>PP</b>	
<b>PS</b>	

3. Qual as principais semelhanças e diferenças entre esses polímero?

**APÊNDICE D – Questionário 4**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

***Questionário 4***

1. Todos os polímeros apresentam propriedades iguais?

---

2. De acordo com os usos preencha o quadro a seguir:

Polímero	Usos
<b>PET</b>	
<b>PEAD</b>	
<b>PVC</b>	
<b>PEBD</b>	
<b>PP</b>	
<b>PS</b>	

3. Qual as principais semelhanças e diferenças entre esses polímeros?

## APÊNDICE E – Questionário 5



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

### *Questionário 5*

1. Todos os polímeros apresentam a mesma forma de tratamento?

---

De acordo com os formas de tratamentos de cada polímeros, preencha o quadro a seguir:

Polímero	Tratamentos
<b>PET</b>	
<b>PEAD</b>	
<b>PVC</b>	
<b>PEBD</b>	
<b>PP</b>	
<b>PS</b>	

2. Qual as principais semelhanças e diferenças entre esses polímeros?

**APÊNDICE F – Questionário 6**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

***Questionário 6***

Cada grupo base:

1. Preencha o quadro a seguir:

Polímero	Conceitos Gerais	Usos	Tratamentos
<b>PET</b>			
<b>PEAD</b>			
<b>PVC</b>			
<b>PEBD</b>			
<b>PP</b>			
<b>PS</b>			

## APÊNDICE G – Questionário 7



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

### *Questionário 7*

1. Defina/Conceitue/Explique o que é um polímero.

---

2. Qual a diferença entre polímero natural e polímero sintético?

---

3. Cite três polímeros usados no dia-a-dia.

---

4. Assinale abaixo quais são considerados polímeros:

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Garrafa de refrigerante | <input type="checkbox"/> Liga metálica        |
| <input type="checkbox"/> Tintas                  | <input type="checkbox"/> Pneu                 |
| <input type="checkbox"/> Seringas de injeção     | <input type="checkbox"/> brinquedos plásticos |
| <input type="checkbox"/> Proteína                | <input type="checkbox"/> Cd's                 |

5. É possível reutilizar materiais poliméricos? Justifique sua resposta.

---

6. Relacione a seguir:

- |          |   |
|----------|---|
| (1) PET  | <input type="checkbox"/> Poli(cloreto de vinila)        |
| (2) PEAD | <input type="checkbox"/> Poliestireno                   |
| (3) PVC  | <input type="checkbox"/> Polietileno de Alta densidade  |
| (4) PEBD | <input type="checkbox"/> Polipropileno                  |
| (5) PP   | <input type="checkbox"/> Poli(tereftalato de etileno)   |
| (6) PS   | <input type="checkbox"/> Polietileno de baixa densidade |

## APÊNDICE H – Resumo dos polímeros estudados



### UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

Quadro entregue aos alunos ao final de toda a atividade com o resumo dos polímeros estudados.

No quadro abaixo está apresentado um resumo com algumas das características dos plásticos discutidos.

Número do plástico para reciclagem	Acrônimo e nome do polímero	Aspecto Visual	Temperatura de Fusão (°C)	Outras propriedades	Comportamento quanto à inflamabilidade	Usos do plástico original	Usos do plástico reciclado
1	PET Poli (tereftalato de etileno)	Incolor, transparente ou opaco	250 - 270	Alta resistência mecânica e química, transparência e brilho	Queima razoavelmente rápida e com chama amarela fuliginosa	Garrafas para bebidas, frascos para alimentos e produtos de limpeza	Fibras de carpete, fibras de enchimento para isolantes, recipientes de uso não-alimentar
2	PEAD Polietileno de Alta densidade	Incolor e opaco	130 - 135	Alta rigidez e resistência	Queima lenta, chama amarela e com odor de vela	Garrafas para leite, suco e água, sacolas (flexíveis)	Frascos de óleo e sabão, canecas, sacolas, canos de drenagem
3	PVC Poli (cloreto de vinila)	Incolor e transparente	273	Flexibilidade com adição de modificadores e alta resistência à chama	Queima difícil com carbonização e chama amarelada com toques verdes	Frascos para comida e água, filmes para envolver alimentos, blisters para embalagem, materiais de construção	Canos de drenagem, telhas, cones de trânsito
4	PEBD Polietileno de baixa densidade	Incolor, translúcido ou opaco	109 - 125	Alta flexibilidade e boa resistência mecânica	Queima lenta, chama amarela e com odor de vela	Sacolas flexíveis para lixo, pão, leite, cereais; filmes flexíveis e recipientes	Sacos de lixo; canos para irrigação; garrafas de óleo
5	PP Polipropileno	Incolor e opaco	160 - 170	Boa resistência a choques e alta resistência química	Queima lenta, chama amarela e com odor de vela	Garrafas, pacotes, filmes, tampas e tampinhas de garrafa, utensílios domésticos	Para-choques de carros, peças automotivas, fibras, baldes, lixeiras
6	PS Poliestireno	Incolor e transparente	235	Grande rigidez, baixa resistência a choques e riscos, transparência	Queima rápida, chama amarela/laranja e com odor a estireno	Utensílios domésticos rígidos, Copos de espuma, embalagem, talheres, móveis	Isolantes, brinquedos, bandejas, embalagens rígidas

Referência para elaboração do Quadro (Quadro adaptado):

1. BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. p. 549. Porto Alegre: Bookman, 2002.
2. PEREIRA, F. S. G. **Polímeros, fundamentos científicos e tecnológicos**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. 2009. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/63577905/Livro-Polimeros>> Acesso em: 30 de Setembro de 2015. p. 86.

## APÊNDICE I – Polietileno de baixa densidade (PEBD)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

### *Polietileno: Principais Tipos, Propriedades e Aplicações<sup>2</sup>*

Fernanda M. B. Coutinho, Ivana L. Mello, Luiz C. de Santa Maria  
Instituto de Química, UERJ

#### *Introdução*

Polietileno é um polímero parcialmente cristalino, flexível, cujas propriedades são acentuadamente influenciadas pela quantidade relativa das fases amorfa e cristalina. As menores unidades cristalinas, lamelas, são planares e consistem de cadeias perpendiculares ao plano da cadeia principal e dobradas em zig-zag, para cada 5 a 15nm, embora haja defeitos que são pouco frequentes.

Os polietilenos são inertes face à maioria dos produtos químicos comuns, devido à sua natureza parafínica, seu alto peso molecular e sua estrutura parcialmente cristalina. Em temperaturas abaixo de 60 °C, são parcialmente solúveis em todos os solventes. Entretanto, dois fenômenos podem ser observados:

- Interação com solventes, sofrendo inchamento, dissolução parcial, aparecimento de cor ou, com o tempo, completa degradação do material.
- Interação com agentes tensoativos, resultando na redução da resistência mecânica do material por efeito de tenso-fissuramento superficial.

Em condições normais, os polímeros etilênicos não são tóxicos, podendo inclusive ser usados em contato com produtos alimentícios e farmacêuticos, no entanto certos aditivos podem ser agressivos. No passado, o polietileno era classificado pela sua densidade e pelo tipo de processo usado em sua fabricação. Atualmente, os polietilenos são mais apropriadamente descritos como polietilenos ramificados e polietilenos lineares.

---

<sup>2</sup> Texto adaptado de: COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. S. Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.

### ***POLIETILENO DE BAIXA DENSIDADE (PEBD OU LDPE)***

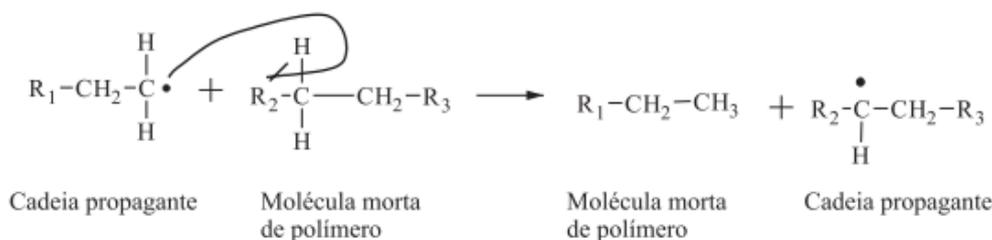
O processo de produção de PEBD utiliza pressões entre 1000 e 3000 atmosferas e temperaturas entre 100 e 300 °C. Temperaturas acima de 300 °C geralmente não são utilizadas, pois o polímero tende a se degradar. Vários iniciadores (peróxidos orgânicos) têm sido usados, porém o oxigênio é o principal.

A reação é altamente exotérmica e assim uma das principais dificuldades do processo é a remoção do excesso de calor do meio reacional. Essa natureza altamente exotérmica da reação a altas pressões conduz a uma grande quantidade de ramificações de cadeia, as quais têm uma importante relação com as propriedades do polímero. Até recentemente, nenhum outro meio comercial para sintetizar PE altamente ramificado era eficaz. Contudo, hoje existem algumas evidências de que ramificações longas podem ser produzidas por catalisadores metalocênicos.

Poliétileno de baixa densidade é um polímero parcialmente cristalino (50 – 60%), cuja temperatura de fusão (T<sub>m</sub>) está na região de 110 a 115 °C. A espectroscopia na região do infravermelho revelou que o polietileno de baixa densidade contém cadeias ramificadas. Essas ramificações são de dois tipos distintos:

- Ramificações devido à transferência de cadeia intermolecular, que surgem de reações do tipo:

Figura 1 – Reação de Ramificação 1.

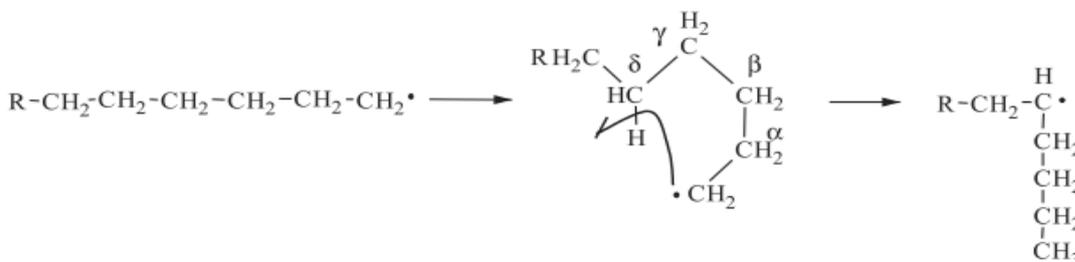


Fonte: COUTINHO, 2003, p. 2.

Essas ramificações são, na maioria das vezes, tão longas quanto à cadeia principal do polímero. Em geral, contêm algumas dezenas ou centenas de átomos de carbono. Esse tipo de ramificação tem um efeito acentuado sobre a viscosidade do polímero em solução. Pode ser identificada pela comparação entre a viscosidade de um polietileno ramificado e a de um polímero linear de mesmo peso molecular. Além disso, a presença dessas ramificações determina o grau de cristalização, as temperaturas de transição e afeta parâmetros cristalográficos tais como tamanho dos cristalitos.

- O segundo mecanismo proposto para a formação de ramificações curtas no polietileno de baixa densidade (produzido via radicais livres) é a transferência de cadeia intramolecular.

Figura 2 – Reação de Ramificação 1.



Fonte: COUTINHO, 2003, p. 2.

Essas ramificações curtas são principalmente n-butila, porém grupos etila e n-hexila, em menores proporções, também são formados pela transferência de cadeia intramolecular.

Em relação à estrutura cristalina, o PEBD, quando comparado ao polietileno linear, apresenta cristalitos menores, menor cristalinidade e maior desordem cristalina, já que as ramificações longas não podem ser bem acomodadas na rede cristalina. A Figura 3 mostra uma representação da estrutura de PEBD, onde se pode observar a presença das ramificações ligadas à cadeia principal.

### Propriedades

O PEBD tem uma combinação única de propriedades: tenacidade, alta resistência ao impacto, alta flexibilidade, boa processabilidade, estabilidade e propriedades elétricas notáveis. As propriedades físicas do PEBD são apresentadas na Tabela 1. Os valores aparecem em intervalos devido à dependência da temperatura e da densidade.

Figura 3. Estrutura do PEBD e suas propriedades físicas.



Figura 1. Representação esquemática da estrutura de PEBD

Tabela 1. Propriedades Físicas do PEBD<sup>(1)</sup>

Propriedade	Método ASTM	PEBD
Densidade, g/cm <sup>3</sup>	D 792	0,912-0,925
Temperatura de fusão cristalina, °C	—	102-112
Índice de refração, n <sub>D</sub>	D 542	1,51-1,52
Tração no escoamento, MPa	D 638	6,2-11,5
Alongamento no escoamento, %	D 638	100-800
Resistência à tração, MPa	D 638	6,9-16
Alongamento máximo, %	D 638	100-800
Módulo elástico, MPa	D 638	102-240
Dureza, Shore D	D 676	40-50

Fonte: COUTINHO, 2003, p. 2.

Apesar de ser altamente resistente à água e a algumas soluções aquosas, inclusive a altas temperaturas, o PEBD é atacado lentamente por agentes oxidantes. Além disso, solventes alifáticos, aromáticos e clorados, causam inchamento a temperatura ambiente. O PEBD é pouco solúvel em solventes polares como álcoois, ésteres e cetonas.

A permeabilidade à água do PEBD é baixa quando comparada a de outros polímeros. A permeabilidade a compostos orgânicos polares como álcool ou éster é muito mais baixa do que aos compostos orgânicos apolares como heptano ou éter dietílico.

### *Aplicações*

O PEBD pode ser processado por extrusão, moldagem por sopro e moldagem por injeção. Assim sendo, é aplicado como filmes para embalagens industriais e agrícolas, filmes destinados a embalagens de alimentos líquidos e sólidos, filmes laminados e plastificados para alimentos, embalagens para produtos farmacêuticos e hospitalares, brinquedos e utilidades domésticas, revestimento de fios e cabos, tubos e mangueiras.

## APÊNDICE J – Poli (cloreto de vinila) (PVC)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

### ***POLI (CLORETO DE VINILA) – PVC<sup>3</sup>***

Soraia Zaioncz

#### *Poli (cloreto de vinila) - PVC: um breve histórico*

O desenvolvimento das resinas de PVC teve início em 1835, quando Justus von Liebig descobriu o monômero cloreto de vinila (VC), um gás à temperatura ambiente com ponto de ebulição igual a  $-13,80^{\circ}\text{C}$ . A descoberta de Liebig fez-se por meio da reação do 1,2-dicloroetano com hidróxido de potássio em solução alcoólica. Entretanto, foi um de seus alunos, Victor Regnault, o responsável pela publicação de um trabalho, em 1839, relatando a ocorrência de um pó branco após a exposição à luz solar de ampolas seladas preenchidas com cloreto de vinila, o qual pensava-se tratar de poli (cloreto de vinila) - PVC, mas estudos indicaram tratar-se do poli (cloreto de vinilideno) 1,2.

O primeiro registro da polimerização do cloreto de vinila e da obtenção do PVC ocorreu em 1872. Baumann detalhou a mudança do monômero induzida pela luz para um produto sólido branco. As propriedades dessa substância, descritas por ele, coincidem com as propriedades apresentadas para o PVC 1,2. Em 1912, Fritz Klatte descobriu na Alemanha o procedimento básico para a produção do PVC. Klatte descobriu os meios para a produção do cloreto de vinila por intermédio da chamada rota do acetileno, pela reação desse gás com o cloreto de hidrogênio. Descobriu ainda, em 1915, a polimerização do cloreto de vinila via radicais livres por meio de iniciadores do tipo peróxidos orgânicos. Porém, a produção comercial na Alemanha ficou limitada às várias tentativas de se construir equipamentos capazes de processar o PVC, devido à sua instabilidade térmica. Tal fato levou à suspensão da manutenção das diversas patentes editadas, tendo aberto caminho para que outras empresas passassem a tentar produzir o PVC.

Finalmente em 1926, W. Semon descobriu nos Estados Unidos que, misturando o PVC com fosfato de tricresila ou ftalato de dibutila - hoje conhecidos como plastificantes era possível processá-lo e torná-lo altamente flexível. O problema da baixa estabilidade

---

<sup>3</sup> Texto adaptado de: ZAIONCZ, S. estudo do efeito de plastificação interna do PVC quimicamente modificado. 2004. 73f. **Dissertação** (Química Orgânica). Curitiba – PR: Universidade Federal do Paraná.

ao calor foi posteriormente superado com o desenvolvimento de uma série de compostos organometálicos e sais baseados principalmente em chumbo, cádmio, bário, zinco, cálcio e estanho, com propriedades de estabilização dos intermediários responsáveis pelas reações de degradação térmica.

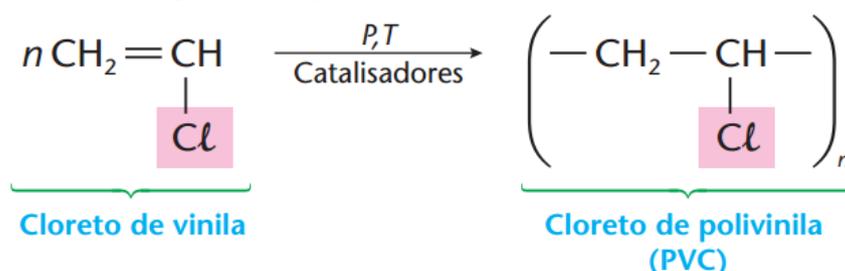
Com isso, deu-se início à produção comercial do PVC. Os alemães começaram a produzi-lo nos anos 30, enquanto a produção britânica teve início nos anos 40. No Brasil, a produção comercial do PVC teve início em 1954 em uma planta construída mediante a associação da B. F. Goodrich (EUA) e das Indústrias Químicas Matarazzo, utilizando tecnologia da primeira.

Atualmente, o PVC é o segundo termoplástico mais consumido em todo o mundo, com uma demanda mundial superior a 27 milhões de toneladas no ano de 2001, sendo a capacidade mundial de produção de resinas de PVC estimada em cerca de 31 milhões de toneladas/ano. Dessa demanda total, o Brasil foi responsável pelo consumo de cerca de 2,5% de resinas de PVC. Esses dados mostram o potencial de crescimento da demanda de resinas de PVC no Brasil, uma vez que o consumo per capita, na faixa de 4,0 kg/hab/ano, ainda é baixo quando comparado ao de outros países.

#### *Polimerização do monômero cloreto de vinila – Processos*

A polimerização via radicais livres do cloreto de vinila produz um polímero de coloração branca, com alta massa molar, rígido e quebradiço. A Figura 1 mostra esquematicamente a polimerização do cloreto de vinila.

Figura 1 – Reação para a formação do PVC.



Fonte: FELTRE, 2004, p. 379.

Cerca de 10 a 15% do PVC consumido mundialmente é produzido pelas técnicas de polimerização em emulsão e micro-suspensão. Por estes processos, obtêm-se os chamados látices de PVC, que são definidos como emulsões estáveis de pequenas partículas de polímero em água, contendo ainda pequenas quantidades de constituintes não poliméricos, tais como emulsificantes, no qual as partículas formadas apresentam tamanho médio da ordem de 0,1 a 0,25  $\mu\text{m}$ . A formulação de látices de PVC é feita considerando-se a incorporação de aditivos tais como estabilizantes térmicos, compatibilizantes, espessantes, antiespumantes, plastificantes, cargas e pigmentos. O composto líquido resultante é então utilizado como agente promotor de adesão para fibras não-tecidas, base de carpetes, impermeabilização de tecidos diversos e revestimento de

papéis especiais, uma vez que seu processamento depende da existência de um suporte para formação do filme de resina de PVC em sua superfície.

Polimerização em massa e polimerização em solução são outras técnicas também empregadas na obtenção do PVC, mas que possuem pouca representatividade no consumo total dessa resina. Aproximadamente 80% do PVC consumido no mundo é produzido por meio da polimerização do monômero cloreto de vinila, em suspensão. Devido ao fato do uso de solvente ser economicamente desinteressante, muitas vezes recorre-se a essa técnica de polimerização, na qual se emprega água como meio de transferência de calor, mantendo o sistema com uma temperatura controlada. Nesse processo, o iniciador é previamente dissolvido no monômero.

### Propriedades

A grande versatilidade do PVC atribui-se principalmente à necessidade e à capacidade de incorporação de aditivos antes de sua transformação no produto final. O grande teor de cloro presente na estrutura molecular do PVC lhe confere alta polaridade, o que aumenta sua afinidade e permite sua mistura com uma grande gama de aditivos. Através da escolha e da dosagem adequadas dos componentes da formulação, podem-se obter materiais poliméricos feitos sob medida para aplicações específicas. Dessa maneira, o PVC pode ter suas características alteradas dentro de um amplo espectro de propriedades, variando desde o rígido ao extremamente flexível, tornando-o o mais versátil dentre os polímeros termoplásticos.

Dentre os principais aditivos que podem ser incorporados ao PVC, destacam-se: plastificantes, estabilizantes, antiestáticos, lubrificantes, pigmentos, espumantes e modificadores de impacto. Dentre os aditivos citados, sem dúvida aqueles que representam maior importância na indústria do PVC, são os plastificantes. Isso permite a sua adequação aos mais variados processos de moldagem, podendo ser injetado, extrudado, calandrado ou espalmado, dependendo da formulação utilizada e lhe confere excepcionais propriedades, dentre as quais podem ser citadas: transparência; brilho; impermeabilidade; alta resistência ao impacto; densidade relativamente baixa ( $1,4 \text{ g/cm}^3$ ) - o que facilita seu manuseio e aplicação; boa resistência a ação de fungos, bactérias, insetos e roedores; bom isolamento térmico, elétrico e acústico; impermeabilidade aos gases e líquidos; resistência às intempéries (sol, chuva, vento e maresia); durabilidade; resistência à propagação de chamas; pode adquirir diferentes colorações pela incorporação de pigmentos, o que torna seu campo de utilização ainda mais amplo. O PVC ainda permite reciclagem e pode ser fabricado com baixo consumo de energia.

### *Principais aplicações*

Podem-se citar como principais aplicações do PVC e de suas formulações, vários segmentos presentes no mercado, abaixo relacionados no quadro 1:

Quadro 1 - Principais seguimentos de aplicações do PVC.

<b>Seguimentos</b>	<b>Aplicações</b>
<b>Embalagens</b>	As aplicações do PVC nesse setor são muito variadas, pois as embalagens de PVC podem ser rígidas ou flexíveis e transparentes ou opacas, variando desde bolsas de sangue e blisters para a indústria farmacêutica, até grandes silos de estocagem.
<b>Calçados</b>	Confecção de solados e outros componentes, expandidos ou compactos, com os quais podem ser produzidas tanto sandálias inteiramente moldadas em uma única etapa, quanto calçados mais sofisticados nos quais acabamentos elaborados como transparência ou brilho podem ser dosados mediante a correta formulação do material.
<b>Construção civil</b>	Tubos, conexões, perfis, fios e cabos somam aproximadamente 64% da demanda total de PVC no Brasil. Nessas aplicações o PVC mostra excelente relação custo-benefício, apresenta vantagens facilmente perceptíveis em quesitos fundamentais como comportamento antichama, resistência ao intemperismo, isolamento térmico e acústico, facilidade de instalação, baixa necessidade de manutenção e excelente acabamento e estética.
<b>Plastificantes*</b>	A plastificação de um polímero consiste em adicionar os plastificantes para alterar a viscosidade do sistema, aumentando a mobilidade das macromoléculas. Os ftalatos são os plastificantes mais importantes e mais utilizados na indústria do PVC

Fonte: ZAIONCZ, 2004, p.10

\*De modo geral, plastificante é uma substância que, adicionada a um material polimérico, modifica importantes propriedades do mesmo, tais como: processabilidade, flexibilidade, módulo de elasticidade, dureza, viscosidade do material fundido e temperatura de transição vítrea (Tg). Os plastificantes comerciais são, de maneira geral: líquidos de alto ponto de ebulição, inodoros, incolores, insolúveis em água e de baixa volatilidade, sendo, em sua grande maioria, ésteres ou poliésteres

### *Reciclagem*

O PVC tem um bom desempenho ambiental sob determinado ponto de vista, pois sua produção é uma das mais econômicas em termos de energia. Há ainda que se considerar que a maioria dos produtos de PVC duram, em média, mais de 50 anos.

O grande consumo industrial de PVC pode ser contrabalançado pela possibilidade deste material permitir a reciclagem. Uma vez separado dos outros plásticos, o PVC pode ser reprocessado e isso se aplica tanto para o PVC rígido quanto para o flexível. Dentre as principais formas de reciclagem<sup>1</sup>, destacam-se:

**Reciclagem mecânica** - Consiste na combinação de um ou mais processos operacionais para aproveitamento do material descartado, transformando-o em material apto para a

fabricação de novos produtos. Quando o material descartado é proveniente de aparas de indústrias de transformação denomina-se reciclagem primária, enquanto que, no caso de material pós-consumo retirado do resíduo sólido urbano, o processo é denominado reciclagem secundária.

- Reciclagem primária: normalmente realizada dentro das próprias instalações da indústria geradora das aparas, as quais são bastante limpas, isentas de contaminantes de difícil remoção, bastando proceder à sua moagem e eventualmente extrusão para filtragem dos contaminantes para se obter um material pronto para novo processamento.
- Reciclagem secundária: o processo é mais complexo e envolve etapas de triagem das aparas, lavagem e secagem (para eliminação de contaminantes provenientes do resíduo sólido urbano), moagem, extrusão, filtração e granulação. A formulação geralmente necessita de correção antes da etapa de extrusão, por meio da incorporação de plastificantes no caso de produtos flexíveis, ou ainda, complementação dos teores de estabilizantes térmicos e lubrificantes para garantir estabilidade durante o processamento.

**Reciclagem química** - Consiste em processos tecnológicos de conversão do resíduo de PVC em matérias-primas petroquímicas básicas. Alguns processos encontram-se disponíveis para reciclagem química do PVC, consistindo basicamente nas seguintes rotas:

- hidrogenação do resíduo: ácido clorídrico, hidrocarbonetos e betume.
- gaseificação: ácido clorídrico, monóxido de carbono e hidrogênio.
- incineração: ácido clorídrico, dióxido de carbono e água.

**Reciclagem energética** - Consiste na compactação dos resíduos e subsequente incineração, convertendo a energia química contida nos mesmos em energia calorífica ou elétrica. Os gases gerados nesse processo são tratados para reduzir o impacto sobre a atmosfera, enquanto as cinzas resultantes do processo de incineração são dispostas em aterros.

Todos esses processos podem ser aplicados na reciclagem do PVC, porém, têm se dado maior ênfase, na atualidade, ao processamento mecânico. Ressalta-se que, uma vez recuperado, o PVC pode ser reprocessado sozinho ou junto com a própria resina virgem ou mesmo com outras, para a produção de uma grande variedade de produtos.

O PVC reciclado tem diversas aplicações. É utilizado na camada central de tubos de esgoto, em reforços para calçados, juntas de dilatação para concreto, perfis, cones de sinalização, etc. No mercado brasileiro, os produtos obtidos com PVC reciclado incluem eletrodutos, solados, laminados flexíveis, mangueiras para jardim, estrados, pisos, dentre outros produtos.

#### Toxicidade do PVC e de suas composições

Os plastificantes são os aditivos mais empregados nas formulações de PVC e, portanto merecem atenção especial quanto à toxicidade, pois são geralmente ftalatos,

sendo que o mais comum, DOP (ftalato de dioctila), ainda é utilizado em todos os produtos médicos e cirúrgicos à base de PVC.

Devido às evidências de toxicidade do DOP, em testes realizados em animais de laboratório, muito esforço tem sido feito para substituir este plastificante dos artefatos feitos para crianças, tais como brinquedos e mordedores, por citratos ou diésteres alifáticos. Sabe-se que esse tipo de plastificante é extraído do polímero em condições de stress mecânico (dobra, pressão), ou na presença de gorduras, óleos e saliva.

Esses ftalatos foram encontrados acumulados no sangue, no pulmão, no tecido do fígado e na gordura, quando usados como plastificantes de produtos a base de PVC destinados para uso médico. Foram encontrados em alimentos gordurosos, tais como a manteiga, o queijo, e derivados de carne, empacotados com PVC, quantidades significativas de DOP e DINP nas camadas da superfície. Os pacientes de hemodiálise, que usam a tubulação de PVC, mostraram mudanças celulares pré-cancerosas (peroxisomas) após um ano de tratamento.

Outro problema relacionado à toxicidade do PVC, consiste na sua incineração pois durante o processo são produzidos compostos clorados tóxicos, como clorofenóis e dioxinas. A emissão de dioxinas de diversos tipos de atividade industrial, principalmente incineração e combustão de materiais descartados, tem sido um dos muitos problemas sociais nos últimos anos.

Além do risco de câncer, dioxinas afetam os sistemas imunológico e endócrino. Foi reportado que, no caso do PVC, a emissão de dioxinas pode ser suprimida se a temperatura de combustão for controlada acima de 800 0C, entretanto, este método é aplicável em larga escala somente em incineradores. Dioxinas podem ser destruídas por métodos como destruição catalítica, fotólise e decomposição fotocatalítica. Uma outra alternativa para impedir a formação de dioxinas durante o processo de incineração do PVC, é a retirada do HCl gasoso formado no sistema, já que este composto é precursor na reação de formação das mesmas.

Esses fatores tornam clara a preocupação tanto com a substituição desse tipo de plastificante por outros, que não possam ser extraídos da matriz polimérica ou que apresentem baixa toxicidade, quanto com a diminuição da emissão de compostos clorados tóxicos durante a queima do PVC o que pode ser minimizado quando tem-se a substituição, mesmo que parcial, dos átomos de cloro presentes na cadeia do polímero.

## APÊNDICE K – Polietileno de alta densidade (PEAD)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

### ***POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE (PEAD OU HDPE)<sup>4</sup>***

A principal diferença entre o processo de polimerização de etileno sob baixa pressão e o processo sob alta pressão está no tipo de sistema iniciador usado. Os iniciadores (catalisadores) utilizados para polimerizar sob pressões próximas à atmosférica foram descobertos por Ziegler e Natta, graças aos seus estudos sobre compostos organo-metálicos, particularmente organo alumínio. O primeiro sistema catalítico, que forneceu resultados satisfatórios foi uma combinação de trietil-alumínio e tetracloreto de titânio.

Há processos que empregam outros catalisadores, tais como: o processo Phillips, que utiliza catalisador à base de óxido de cromo suportado em sílica ou alumina e o processo da *Standard Oil of Indiana*, que utiliza óxido de níquel suportado em carvão.

Esses sistemas catalíticos (iniciadores) são ativos o suficiente para permitir que a reação ocorra, inclusive, à pressão atmosférica e temperaturas inferiores a 100 °C. Nos processos industriais de produção, o peso molecular do polímero é controlado na faixa de 50.000 a 100.000 (Mn) por processo de transferência de cadeia, geralmente com hidrogênio. O primeiro polietileno obtido à baixa pressão foi preparado por Max Fischer em 1934 pela ação de Al e TiCl<sub>4</sub>.

No processo Phillips, a polimerização se realiza a baixas pressões, em torno de 50 atm, e temperaturas brandas (inferiores a 100 °C). Nesse processo, é empregado um catalisador suportado em alumina constituído de óxido de cromo, ativado por uma base.

O polietileno linear é altamente cristalino (acima de 90%), pois apresenta um baixo teor de ramificações. Esse polímero contém menos que uma cadeia lateral por 200 átomos de carbono da cadeia principal (Figura 1), sua temperatura de fusão cristalina é aproximadamente 132 °C e sua densidade está entre 0,95 e 0,97 g/cm<sup>3</sup>. O peso molecular numérico médio fica na faixa de 50.000 a 250.000.

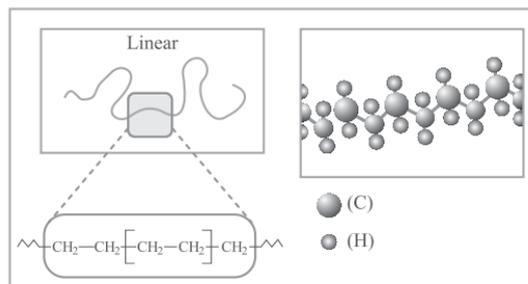
Pereira et. al. fizeram um estudo comparativo da estrutura cristalina lamelar dos polietilenos de alta e baixa densidades e os resultados obtidos confirmaram que as cadeias do PEAD são dobradas e os segmentos entre as dobras contêm cerca de 100 átomos de

---

<sup>4</sup> Texto adaptado de: COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L.; MARIA, L. C. S. Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.

carbono, enquanto que no PEBD, as cadeias são estendidas, com segmentos de cerca de 73 átomos de carbono na zona cristalina, ligados às zonas amorfas, as quais contêm dobras longas e terminais de cadeia. Na figura 1 pode se visualizada a representação esquemática do PEAD.

Figura 1 – Representação esquemática da estrutura do PEAD.



Fonte: COUTINHO, 2003, p. 2.

## Propriedades

A linearidade das cadeias e conseqüentemente a maior densidade do PEAD fazem com que a orientação, o alinhamento e o empacotamento das cadeias sejam mais eficientes; as forças intermoleculares (Van der Waals) possam agir mais intensamente, e, como consequência, a cristalinidade seja maior que no caso do PEBD. Sendo maior a cristalinidade, a fusão poderá ocorrer em temperatura mais alta.

Devido à cristalinidade e à diferença de índice de refração entre as fases amorfa e cristalina, filmes de PEAD (obtido via catalisadores Ziegler-Natta ou Phillips) finos são translúcidos, menos transparentes do que o PEBD (obtido via radicais livres), que é menos cristalino.

Enquanto as propriedades elétricas são pouco afetadas pela densidade e pelo peso molecular do polímero, as propriedades mecânicas sofrem uma forte influência do peso molecular, do teor de ramificações, da estrutura morfológica e da orientação.

O peso molecular tem influência sobre as propriedades do PEAD, principalmente devido ao seu efeito na cinética de cristalização, cristalinidade final e ao caráter morfológico da amostra. O efeito do peso molecular depende de sua extensão. O PEAD de baixo peso molecular é frágil e quebra sob baixas deformações, sem desenvolver “pescoço” (*neck*) no ensaio de tração. Na faixa de peso molecular entre 80.000 e 1.200.000, típica para PEAD comercial, sempre ocorre formação de “pescoço”. Além disso, o peso molecular também exerce influência sobre a resistência ao impacto. Amostras com baixo peso molecular são frágeis, porém com o aumento do peso molecular, a resistência ao impacto aumenta e é bastante alta para o PEAD com peso molecular na faixa de  $5 \times 10^5$  a  $10^6$ .

Um aumento no teor de ramificações reduz a cristalinidade e é acompanhado por variação significativa das características mecânicas, uma vez que causa um aumento no alongamento na ruptura e uma redução da resistência à tração.

A orientação das cadeias poliméricas exerce um forte efeito sobre as propriedades

mecânicas do polímero. Materiais fabricados com PEAD altamente orientado são aproximadamente dez vezes mais resistentes do que os fabricados a partir do polímero não orientado, pois a orientação aumenta o empacotamento das cadeias e conseqüentemente aumenta a rigidez do polímero.

Em geral, o PEAD, exibe baixa reatividade química. As regiões mais reativas das moléculas de PEAD são as duplas ligações finais e as ligações CH terciárias em ramificações. PEAD é estável em soluções alcalinas de qualquer concentração e em soluções salinas, independente do pH, incluindo agentes oxidantes como  $\text{KMnO}_4$  e  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ; não reage com ácidos orgânicos, HCl ou HF. Soluções concentradas de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (> 70%) sob elevadas temperaturas reagem vagarosamente com PEAD, produzindo sulfoderivados.

À temperatura ambiente, PEAD não é solúvel em nenhum solvente conhecido, apesar de muitos solventes, como xileno, por exemplo, causarem um efeito de inchamento. Sob altas temperaturas, PEAD se dissolve em alguns hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos. O PEAD é relativamente resistente ao calor.

## Aplicações

O PEAD é utilizado em diferentes segmentos da indústria de transformação de plásticos, abrangendo os processamentos de moldagem por sopro, extrusão e moldagem por injeção.

Pelo processo de injeção, o PEAD é utilizado para a confecção de baldes e bacias, bandejas para pintura, banheiras infantis, brinquedos, conta-gotas para bebidas, jarros d'água, potes para alimentos, assentos sanitários, bandejas, tampas para garrafas e potes, engradados, bóias para raias de piscina, caixas d'água, entre outros. Enquanto que pelo processo de sopro, destaca-se a utilização na confecção de bombonas, tanques e tambores de 60 a 250 litros, onde são exigidas principalmente resistência à queda, ao empilhamento e a produtos químicos, frascos e bombonas de 1 a 60 litros, onde são embalados produtos que requeiram alta resistência ao fissuramento sob tensão. Por extrusão, é aplicado em isolamento de fios telefônicos, sacos para congelados, revestimento de tubulações metálicas, polidutos, tubos para redes de saneamento e de distribuição de gás, emissários de efluentes sanitários e químicos, dutos para mineração e dragagem, barbantes de costura, redes para embalagem de frutas, fitas decorativas, sacos para lixo e sacolas de supermercados.

Algumas indústrias brasileiras já estão explorando um novo nicho do mercado, um tipo (grade) específico de polietileno de alta densidade para moldagem por sopro de tanques de combustível e outro para “containeres” de mil litros.

O PEAD e o PEBD têm muitas aplicações em comum, mas em geral, o PEAD é mais duro e resistente e o PEBD é mais flexível e transparente. Um exemplo da relação de dureza e flexibilidade está no fato de que o PEAD é utilizado na fabricação de tampas com rosca (rígidas) e o PEBD na de tampas sem rosca (flexíveis).

## APÊNDICE L – Polipropileno (PP)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

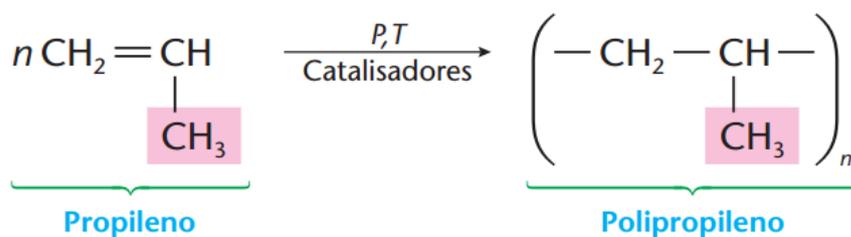
### ***POLIPROPILENO - PP<sup>5</sup>***

Francisco Sávio Gomes Pereira

O polipropileno é uma resina termoplástica, pertencente ao grupo das poliolefinas que inclui os polietilenos e polibutenos, com ampla faixa de propriedades e grande facilidade de processamento. Estas características têm permitido o crescimento contínuo no consumo mundial deste material, sendo um dos plásticos de maior venda e que mostra a maior taxa de crescimento anual no mundo, devido às suas excepcionais propriedades e versatilidade de aplicação e uso.

É um termoplástico semicristalino, produzido através da polimerização do monômero propeno, usando um catalisador estereoespecífico formando cadeias longas. As macromoléculas de polipropileno podem conter milhares de unidades monoméricas. O termo estereoespecífico do catalisador se refere à característica de controlar a posição do grupo metila na cadeia polimérica de forma ordenada. O monômero base, propeno, é um gás à temperatura ambiente. Mero: propileno (designação antiga do propeno). A Figura 1 traz a reação de formação do PP.

Figura 1 - Reação para a formação do PP.



Fonte: FELTRE, 2004, p. 379.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Texto adaptado de: PEREIRA, F. S. G. **Polímeros, fundamentos científicos e tecnológicos**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. 2009. Págs 75-80.

<sup>6</sup> Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/63577905/Livro-Polimeros>> Acesso em: 30 de Setembro de 2015.

### *Fabricação do polipropileno*

A polimerização do propeno, um derivado gasoso do petróleo, realiza-se com um catalisador de coordenação de forma essencialmente semelhante ao PEAD. O etileno, o propeno e outras olefinas podem ser polimerizados no mesmo equipamento com apenas algumas poucas modificações, o que permite uma grande flexibilidade de operações.

As condições de operação e os catalisadores são cuidadosamente selecionados a fim de produzir-se o polipropileno isotático. Também é comercializado em quantidades mínimas na forma atática. O PP isotático, com densidade ao redor de 0,905 g/cm<sup>3</sup> e ponto de fusão em torno de 165 °C é essencialmente linear. Apresenta boa estabilidade térmica, rigidez, resistência química, resistência ao impacto (exceto em baixas temperaturas), estabilidade dimensional, transparência, translucidez e resistência ao stress cracking.

A maior parte do polipropileno comercial é do tipo "isotático", em que a maioria das unidades de propeno está com a "cabeça" unida à "cauda", formando uma cadeia com todos os grupos metila orientados para o mesmo lado. Esta estrutura estereorregular favorece o desenvolvimento de regiões cristalinas, que, dependendo das condições de processamento, permite obter uma cristalinidade entre 40 e 70%.

O polipropileno é feito pela formação de longas cadeias de monômero de propeno que ocorre em um reator operando normalmente sob altas temperaturas, altas pressões e com o uso de um sistema catalítico. O segredo de criar uma forma isotática de polipropileno reside no catalisador usado para dirigir esta reação: o catalisador correto deve alinhar as moléculas para assegurar que eles encontrem a forma certa de se unirem à cadeia. Os catalisadores usados para a polimerização do propeno são geralmente uma mistura de compostos de titânio e alumínio. Um controle flexível da estrutura molecular durante a polimerização, especificamente da isotaticidade, peso molecular, distribuição do peso molecular e a adição de comonômero durante a copolimerização, permite a uma única unidade de polimerização produzir todos os tipos de polipropileno.

O polipropileno sai do reator na forma de pequenas partículas ou esferas. Elas vão para uma extrusora, onde são adicionados os aditivos e então granuladas. Esta é a forma que o polipropileno é entregue aos clientes, que o transformarão em artigos finais que vão ao mercado.

### *Tipos de polipropileno*

Os tipos de polipropileno englobam Homopolímeros, Copolímeros Randômicos e Copolímeros Heterofásicos, com Índices de Fluidez podendo variar entre 0,6 a 100 g/10min. Esses tipos de PP estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Descrição e aplicações dos grupos de produtos do polipropileno.

<b>Grupo</b>	<b>Descrição</b>
<b>Homopolímeros</b>	Obtidos exclusivamente por meio da polimerização do propeno, possuem excelente brilho e rigidez, sendo extensamente usados na produção de rafia para sacaria industrial, confecção de móveis plásticos e utilidades domésticas.

<b>Copolímeros Heterofásicos</b>	Incorporando, de forma específica, moléculas de eteno ao polímero, possuem excelente balanço de rigidez e resistência a impactos, sendo amplamente utilizados na produção de peças automobilísticas, embalagens rígidas e aplicações industriais.
<b>Copolímeros Randômicos</b>	Incorporando, de forma aleatória, moléculas de eteno ao polímero, possuem excelentes propriedades óticas, como brilho e transparência, e menor temperatura de fusão, com aplicação na fabricação de utensílios domésticos e produtos que exigem alta transparência, como embalagens rígidas e utilidades domésticas de alta transparência e flexíveis para a indústria alimentícia.

Fonte: Adaptado de PEREIRA, 2009, p. 78.

No quadro 2 a seguir, estão descritas as principais características desses tipos de PP.

Quadro 2 - Principais características dos diferentes tipos de polipropileno.

Tipo	Rigidez	Transparência	Resistência ao Impacto	
			Temperatura Ambiente	Temperatura Baixa
<b>Homopolímero</b>	Muito bom	Regular Bom (para tipos clarificados)	Regular	Fraco
<b>Copolímero Randômico</b>	Bom	Bom Muito bom (para tipos clarificados)	Muito bom	Fraco
<b>Copolímero Heterofásico</b>	Bom	Fraco	Muito bom	Muito bom

Fonte: PEREIRA, 2009, p. 77.

### *Características principais e propriedades do polipropileno*

Entre as inúmeras propriedades deste material, podem ser destacadas as seguintes: A densidade do polipropileno é da ordem de  $0,905 \text{ g/cm}^3$ , uma das mais baixas entre todos os materiais plásticos disponíveis comercialmente. isto permite obter peças com baixo peso; apresenta elevada rigidez, superior à da maioria dos plásticos comerciais; boa resistência ao impacto à temperatura ambiente (acima de  $15^\circ\text{C}$ ), para todos os tipos de polipropileno; excelente transparência por contato; elevada resistência à fratura por fadiga ou flexão, tornando-o adequado a aplicações em dobradiças integrais; alta dureza superficial; elevada resistência química e a solventes, não sendo atacado pela grande maioria de produtos químicos à temperatura ambiente; baixíssima absorção de água; baixa permeabilidade ao vapor de água; baixíssima condutividade elétrica; baixo custo; fácil moldagem; fácil coloração; boa estabilidade térmica; maior sensibilidade à luz uv e agentes de oxidação, sofrendo degradação com maior facilidade.

### *Aplicações comerciais do polipropileno*

O PP apresenta facilidade para a incorporação de cargas tais como talco, fibra de vidro, carbonato de cálcio, borracha, etc. que alteram as propriedades da resina e consequentemente as suas aplicações.

Devido às suas características no estado fundido, o polipropileno pode ser moldado pelos mais diferentes processos de transformação de plásticos, dentre os quais podem ser destacados:

**Moldagem por injeção** que envolve a fusão do material, junto com a adição de corantes ou aditivos, e forçá-lo sob pressão para dentro de um molde. Este molde é refrigerado, o material se solidifica e o artigo final é extraído. Este método é usado para fazer muitos tipos de artigos, como por exemplo, potes, tampas, móveis plásticos, corpos de eletrodomésticos, utilidades domésticas e peças automobilísticas. O polipropileno é apreciado por sua fácil processabilidade e excelentes propriedades finais, que incluem densidade baixa, alto brilho e rigidez, resistência térmica e química, entre outras.

**Moldagem por Sopro** é usada para a produção de frascos, garrafas, reservatórios para veículos etc. Um tubo de material fundido é soprado dentro de um molde e toma a forma da cavidade. Quando ele é resfriado, o molde é aberto e o artigo extraído.

**Filmes** de polipropileno são largamente empregados para a embalagem de alimentos e outros artigos. Eles são feitos por extrusão, que força a passagem do material fundido através de uma matriz tubular ou plana. O Filme produzido desta forma pode ser orientado posteriormente, obtendo-se um filme mais resistente.

**Extrusão.** Por este processo podem ser obtidos inúmeros artigos contínuos, que incluem tubos, chapas, rafia, etc. As chapas de polipropileno são feitas pela passagem do material fundido através de uma matriz plana, e resfriado em cilindros paralelos. As chapas podem ser usadas para a produção de diversos artigos através de corte e vinco ou termoformadas para a produção de potes, copos, etc. As rafia são produzidas pelo corte e posterior estiramento de uma chapa, que são então usadas em teares para a produção de tecidos, sacaria, etc.

**Fibras** de polipropileno são usadas para a produção de carpetes, tapetes e cordas, entre outros. O material fundido em uma extrusora e forçado através de inúmeros furos minúsculos, formando as fibras. De modo semelhante são produzidos os não-tecidos de polipropileno, que são largamente usados em descartáveis higiênicos, roupas protetoras etc que se beneficiam da tenacidade e flexibilidade dos novos materiais.

Estes são alguns dos processos usados para a transformação do polipropileno. Quando uma nova técnica está sendo desenvolvida ou uma nova aplicação do polipropileno usando uma das técnicas já consolidadas, é necessária uma integração entre o produtor de máquina, produtor de resina e transformador para se encontrar o material mais adequado para o novo processo ou aplicação.

Resumindo, podemos ter como aplicações comerciais do polipropileno: Brinquedos; Recipientes para alimentos, remédios, produtos químicos; Carcaças para eletrodomésticos; Fibras; Sacarias (rafia); Filmes orientados; Tubos para cargas de

canetas esferográficas; Carpetes; Seringas de injeção; Material hospitalar esterilizável; Autopeças (pára-choques, pedais, carcaças de baterias, lanternas, ventoinhas, ventiladores, peças diversas no habitáculo). Peças para máquinas de lavar.

Atualmente há uma tendência no sentido de se utilizar exclusivamente o PP no interior dos automóveis. Isso facilitaria a reciclagem do material por ocasião do sucateamento do veículo, pois se saberia com qual material se estaria lidando.

## APÊNDICE M – Poliestireno (PS)

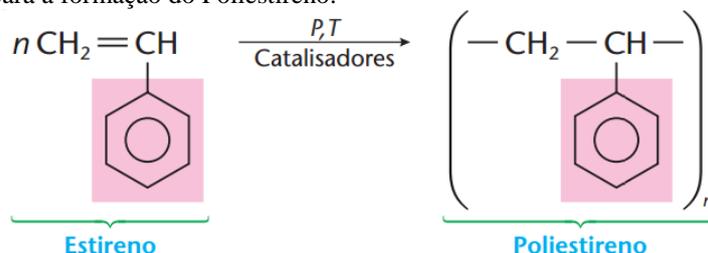


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

### *POLIESTIRENO – PS<sup>7</sup>*

O PS é um polímero vinílico, sendo, portanto, uma cadeia hidrocarbônica com um grupo fenila unido a um dos carbonos do grupo vinila. Este é produzido a partir do monômero estireno através de polimerização de radicais livres. Na figura 1 segue a reação para a formação do Poliestireno:

Figura 1 - Reação para a formação do Poliestireno.

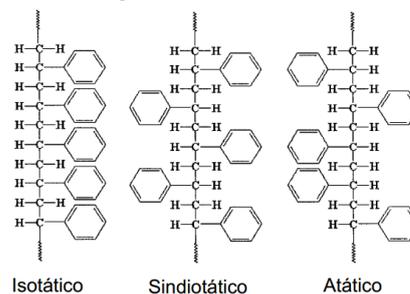


Fonte: FELTRE, 2004, p. 380.

Na formação por radicais livres se forma o poliestireno atático, tipo de configuração onde o grupo fenila está disposto espacialmente ao acaso ao longo da cadeia polimérica, sendo um polímero termoplástico amorfo. O poliestireno ainda pode ser obtido nas configurações isotática e sindiotática, nas quais o grupo fenila está disposto de maneira ordenada para um mesmo lado ou de maneira alternada em um plano ao longo da cadeia polimérica.

<sup>7</sup> Adaptado dos autores: (1) VERONESE, V. B. Desenvolvimento e avaliação de propriedades de misturas de poliestireno (PS) e copolímeros em bloco Estireno-Butadieno-Estireno (SBS). 2013. 94f. **Dissertação** (Ciência e Tecnologia dos Materiais). Porto Alegre – RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. (2) PEREIRA, F. S. G. **Polímeros, fundamentos científicos e tecnológicos**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. 2009. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/63577905/Livro-Polimeros>> Acesso em: 30 de Setembro de 2015.

Figura 2 – Representação estrutural da estereorregularidade do PS.



Fonte: VERONESE, 2013, p. 4.

O Poliestireno caracteriza-se por sua dureza, sua facilidade de processamento e seu baixo custo. É disponível em vários tipos apropriados para várias aplicações e processamentos. Baixa resistência a solventes orgânicos, calor e intempéries. É completamente inodoro, insípido e atóxico; queima como chama fuliginosa, amarela alaranjada, lentamente, e não se extingue; possui boa estabilidade dimensional e pequena absorção de umidade. Possui excepcionais propriedades elétricas que permanecem constantes numa ampla faixa de temperatura e frequência. O poliestireno apresenta quatro tipos básicos, estes estão dispostos no quadro 1.

Quadro 1 – Tipos de Poliestireno e suas características.

<b>Tipo de Poliestireno</b>	<b>Características</b>
<b>PS cristal</b>	Homopolímero amorfo, duro, com brilho e elevado índice de refração. Pode receber aditivos lubrificantes para facilitar processamento. Usado em artigos de baixo custo.
<b>PS resistente ao calor</b>	Maior Massa Molar, o que torna seu processamento mais difícil. Variante ideal para confecção de peças de máquinas ou automóveis, gabinetes de rádios e TV, grades de ar condicionado, peças internas e externas de eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos, circuladores de ar, ventiladores e exaustores.
<b>PS de alto impacto</b>	Contém de 5 a 10% de elastômero (borracha), que é incorporado através de mistura mecânica ou diretamente no processo de polimerização, através de enxerto na cadeia polimérica. Obtém-se desse modo uma blenda. Muito usado na fabricação de utensílios domésticos (gavetas de geladeira) e brinquedos.
<b>PS expandido</b>	Espuma semi-rígida com marca comercial isopor <sup>(R)</sup> . O plástico é polimerizado na presença do agente expensor ou então o mesmo pode ser absorvido posteriormente. Durante o processamento do material aquecido, ele se volatiliza, gerando as células no material. Baixa densidade e bom isolamento térmico. Aplicações: protetor de equipamentos, isolantes térmicos, pranchas para flutuação, geladeiras isotérmicas, etc.

Fonte: PEREIRA, 2009, p. 81.

Outras aplicações para o Poliestireno são: embalagens, caixas de CD, copos, gabinetes de computador, maçanetas de automóveis, equipamentos aeronáuticos, etc.

## ANEXOS

## ANEXO A – Poli (tereftalato de etileno) (PET)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

QUÍMICA E SOCIEDADE

# (Re) CONHECENDO O PET

Rita de Cássia Campos Pereira, Andréa Horta Machado e Glaura Goulart Silva

Este trabalho tem como objetivo oferecer ao professor um material de apoio para a abordagem de questões ambientais em aulas de química. O tema escolhido foi a embalagem de refrigerantes conhecida como PET. No artigo discute-se a relação entre a constituição e as propriedades desse material e seu uso crescente.

▶ PET, educação ambiental, plásticos ◀

Recebido em 12/01/01, aceito em 26/1/01

**P**odemos observar, no nosso cotidiano, que boa parte dos materiais usados em residências, hospitais, escolas, comércio etc. vem sendo substituída por materiais plásticos. Uma das substituições mais visíveis foi a das embalagens de refrigerantes, que passaram de garrafas de vidro para recipientes de plástico. O Quadro 1 apresenta alguns dados que comprovam esse fato.

A partir dessa substituição, um novo termo virou sinônimo de embalagem de refrigerante: PET. É comum entrarmos em uma padaria ou supermercado e escutarmos as pessoas falando: "me dá uma X-cola PET" ou "promoção: refrigerante PET por um real".

Mas, será que o PET é usado somente como embalagem de refrigerante? Seríamos capazes de entrar em um supermercado, ou até mesmo em nossas casas, e identificarmos se uma embalagem plástica é do tipo PET ou não?

Para facilitar a identificação dos materiais plásticos, em 1994 a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) determinou que cada tipo de plás-

Quadro 1: Distribuição percentual das embalagens de refrigerante usadas no Brasil (1990-1998).

Embalagens	Porcentagem		
	1990	1996	1998
Vidro não retornável	<1	<1	<1
Vidro retornável	87	27	10
PET não retornável	3	59	74
PET retornável	<1	5	3
Latas	<1	6	9

tico recebesse uma numeração específica e que esse número viesse dentro do triângulo que simboliza reciclagem. As embalagens de PET são identificadas pelo número 1. Na maioria das embalagens, o triângulo é aplicado em alto relevo na parte inferior do recipiente. Confira na Figura 1 a simbologia utilizada para identificar o PET.

Símbolos do mesmo tipo são utilizados para identificação de outros tipos de plástico, mudando apenas a numeração. A relação entre o número utilizado no símbolo e o tipo de plástico é apresentada a seguir:

- 2: PEAD (polietileno de alta densidade)
- 3: PVC (poli(cloreto de vinila))

- 4: PEBD (polietileno de baixa densidade)
- 5: PP (polipropileno)
- 6: PS (poliestireno)
- 7: outros



Figura 1: Símbolo de reciclagem para embalagens PET.

A seção "Química e sociedade" apresenta artigos que focalizam diferentes inter-relações entre ciência e sociedade, procurando analisar o potencial e as limitações da ciência na tentativa de compreender e solucionar problemas sociais. Neste número a seção apresenta dois artigos.

### O que é o PET?

Muitos materiais existentes na natureza resultam da união de pequenas moléculas produzindo outras, bem maiores, chamadas de macromoléculas ou polímeros. As moléculas menores são chamadas de monômeros. As proteínas, os açúcares e o DNA são exemplos significativos de polímeros naturais.

Mas os polímeros não existem apenas nos seres vivos. Eles podem ser adquiridos em supermercados, estão presentes ao nosso redor, são utilizados em vestimentas, fazemos refeições em sua companhia e são encontrados nos travesseiros e colchões, só para citar alguns exemplos. Entre os polímeros sintéticos mais usados estão as borrachas e os plásticos. A palavra *plástico* significa "adequado à moldagem".

A sigla PET deriva das primeiras letras do nome científico dado a esse plástico: poli(tereftalato de etileno). O PET é classificado como um termoplástico quando são analisadas suas propriedades de solubilidade e fusibilidade. Termoplásticos são aqueles que não sofrem alterações em sua estrutura química durante o aquecimento até a sua fusão. Os termoplásticos, após serem resfriados, podem ser

novamente fundidos. Isso significa que, depois de moldado, o PET pode ser remoldado.

O PET é usado na fabricação de fibras têxteis (como o Tergal®), filmes (para adesivos, por exemplo) e embalagens para refrigerantes, águas e sucos. Diversos outros líquidos podem estar embalados em PET: óleos comestíveis, medicamentos, cosméticos, produtos de higiene e limpeza, destilados, isotônicos e cervejas, entre outros.

### Como se obtém o PET?

A primeira amostra de PET foi desenvolvida por uma companhia britânica, em 1941. As pesquisas para aplicação desse material tiveram seu auge somente após a Segunda Grande Guerra, no anos 50, em laboratórios dos EUA e Europa. Inicialmente, o PET foi utilizado quase totalmente na indús-

tria de tecido. No início dos anos 70, começou a ser utilizado pela indústria de embalagens. No Brasil, o material foi introduzido na década de 60 e seguiu a mesma trajetória do restante do mundo, sendo utilizado primeiro na indústria de tecido. Apenas em 1993 passou a ser utilizado no mercado de embalagens, inicialmente para refrigerantes.

O PET é obtido industrialmente a partir de transformações químicas especiais chamadas reações de polimerização. Numa reação de polimerização, moléculas menores (monômeros) reagem e formam moléculas bem maiores. No caso do PET, os reagentes mais utilizados para formar os monômeros são substâncias orgânicas: um ácido dicarboxílico e um glicol. Exemplos desses reagentes podem ser observados na Figura 2.

A reação de produção do PET inicia-se com a esterificação dos monômeros. A seqüência de condensação desses monômeros leva à formação do PET. Essa seqüência de condensação é chamada de policondensação. Tem-se como subproduto dessa reação química a água. Um esquema dessa reação pode ser encontrado em artigo de Wan *et al.* (2001), publicado no *Caderno Temático de Química Nova na Escola* número 2, sobre novos materiais.

Os polímeros resultantes dessa reação poderão ter massas molares médias variáveis. A seleção da massa molar média é fundamental para a utilização do PET como matéria-prima na produção de produtos de plástico. Por exemplo, uma indústria de tecido irá utilizar o PET com

massa molar média de 12 kg/mol a 20 kg/mol, que é adequado para a produção de fibras têxteis e filmes. Já nas indústrias de embalagens, a utilização do PET com massa molar média entre 30 kg/mol e 35 kg/mol é ideal para a fabricação de embalagens

sopradas (garrafas).

O controle da massa molar que se quer obter é feito por meio da variação de parâmetros do processamento, como, por exemplo, a temperatura. Para isto, a amostra de PET é submetida a um tratamento térmico em reatores que possuem atmosfera inerte, pois o poli(tereftalato de etileno) é sensível à degradação térmica, especialmente na presença de água e/ou ar (oxigênio). A presença de oxigênio induz um processo de degradação oxidativa e a degradação térmica com umidade provoca a quebra das cadeias, reduzindo a massa molar do polímero.

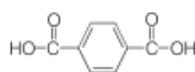
### Propriedades do PET

Além da faixa de massa molar do material de partida e da temperatura do processamento, outros parâmetros são importantes na seleção do material PET com as características adaptadas para o uso como embalagem. Para a utilização no armazenamento de bebidas gasosas, deve ser feito sobre o polímero um procedimento que induza a orientação das longas cadeias em dois eixos (bi-orientado), sem aumento significativo de cristalização. Esse processo vai garantir boas propriedades mecânicas, transparência e baixa permeabilidade ao gás CO<sub>2</sub>.

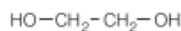
A relação entre as quantidades de fase cristalina (aquela que apresenta organização a longa distância) e amorfa no material constitui uma propriedade central na definição do seu uso. O PET é um material intrinsecamente semicristalino, ou seja, quantidades variáveis de suas cadeias podem organizar-se em cristais ou se manterem amorfas, de forma similar aos vidros. Para conhecer algumas características sobre polímeros amorfos em sua fase rígida (vítreo) ou, após a transição vítreo, em sua fase polimérica flexível, consulte o artigo de Wan *et al.* (2001).

A sigla PET deriva das primeiras letras do nome científico dado ao polímero sintético poli(tereftalato de etileno)

A utilização do PET com massa molar média entre 30 kg/mol e 35 kg/mol é ideal para a fabricação de embalagens sopradas (garrafas)



ácido tereftálico



etilenoglicol

Figura 2: Exemplos de reagentes que dão origem ao PET.

Se o processo de obtenção de artefatos que têm como matéria-prima o PET seguir o seu curso normal, as macromoléculas do polímero estarão organizadas de tal forma que o seu "grau de cristalinidade", ou seja, a quantidade relativa de fase organizada, será alto (>50% da massa total). Isto não é adequado ao uso do PET como embalagem pois, quanto maior o grau de cristalinidade, mais quebradiço fica o material. O ideal é a utilização do PET bi-orientado que apresenta um grau de cristalinidade <50% em massa.

No caso do PET, a temperatura característica da transição da fase amorfa, ou transição vítrea, é em torno de 75

°C. Isto significa que sua fase amorfa, que está presente em teor superior a 50% em massa, é rígida à temperatura ambiente e flexível acima de 75 °C.

Outra propriedade, que também está ligada ao grau de orientação e cristalinidade, é a absoluta transparência, o que dá a impressão de higiene e pureza de seu conteúdo para o consumidor. A estrutura menos cristalina das macromoléculas contribui para dar à embalagem a transparência desejada e flexibilidade suficiente para garantir boa resistência ao impacto. O seu forte brilho, parecido com o do vidro, chama a atenção do consumidor e valoriza o produto embalado.

O PET apresenta também a vantagem de ser um polímero que pode receber pigmentos de diferentes cores e tons, fornecendo variadas opções na identidade da embalagem.

**Reaproveitar ou reciclar embalagens plásticas é uma forma de reduzir a quantidade de lixo. Reduzindo a quantidade de lixo, estamos preservando o ambiente e reduzindo os custos para o poder público e para nós cidadãos**

Outra característica importante do PET é sua baixa densidade em relação ao vidro. Isto facilita o transporte e reduz os custos a ponto de estimular a descartabilidade da embalagem. Uma carreta pode carregar 60% mais refrigerante ou suco se a carga for com garrafas PET do que se for com garrafas de vidro. A densidade do PET está entre 1,38 g/mL e 1,41 g/mL. A do vidro para embalagem é de 2,5 g/mL.

Quando falamos de refrigerante, ou de outra substância carbonatada, o PET não substituiu o vidro somente devido às propriedades citadas anteriormente. Imagine uma garrafa de refrigerante com todas essas

propriedades, mas que não conseguisse manter o gás da bebida. O PET bi-orientado tem a capacidade de formar uma barreira contra gases. Uma água mineral com gás pode ficar armazenada em garrafa do tipo PET pelo mesmo tempo que ficaria em uma garrafa de vidro, sem perder o seu gás. Isto se deve à baixa permeabilidade desse plástico a compostos carbonatados, comparada com outros plásticos, excluindo-se o PVC, que é igualmente muito pouco permeável a gases. Essa baixa permeabilidade deve-se às interações fortes que existem entre as cadeias macromoleculares, que dificultam significativamente a difusão de gases. A orientação das cadeias, mesmo sem cristalização, favorece um maior empacotamento das mesmas e, portanto, a baixa permeabilidade.

Todas essas características fazem do

PET um material que vem sendo cada vez mais utilizado como embalagem, como podemos observar no Quadro 2.

Não podemos esquecer que os materiais do tipo PET são 100% recicláveis! A coleta seletiva e a classificação do lixo plástico são pontos de estrangulamento para a reciclagem. O PET pode ser reciclado, por exemplo, para aplicação na produção de fios e cerdas para cordas e vassouras.

Quando vamos reciclar um material plástico, é preciso separá-lo por sua cor e por seu tipo. Se não forem separados antes de serem reciclados, os plásticos provocarão danos aos equipamentos de reciclagem e haverá perda da qualidade do produto final, inviabilizando o processo.

Reaproveitar ou reciclar embalagens plásticas é uma forma de reduzir a quantidade de lixo. Reduzindo a quantidade de lixo, estamos preservando o ambiente e reduzindo os custos para o poder público e para nós cidadãos. Um boa notícia é o fato de que a reutilização de embalagens de refrigerante para o mesmo fim já é proposto como economicamente viável na atualidade.

**Rita de Cássia Campos Pereira** (cassiacp@decalus.loc.ufmg.br), licenciada em Química pela UFMG, é mestrandia na área de Físico-Química no Departamento de Química da UFMG. **Andréa Horta Machado** (andreah@coltec.ufmg.br), bacharel e licenciada em Química pela UFMG, mestre e doutora em Educação pela Unicamp, é professora do Colégio Técnico da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte. **Glaura Goulart Silva** (glaura@loc.ufmg.br), bacharel e licenciada em Química pela UFMG, mestre em Química pela UFMG, doutora em Eletroquímica pelo Instituto Nacional Politécnico de Grenoble (França), é professora do Departamento de Química da UFMG, em Belo Horizonte.

#### Para saber mais

ABEPET, <http://www.abepet.com.br>, setembro de 2000.

ABNT, Norma NBR13230, 1994.

BORGES, C. *Pack: tecnologia de embalagem, logística e design*. São Paulo: Editora Banas Ltda., 2000.

WAN, E.; GALEMBECK, E.; GALEMBECK, F. Polímeros sintéticos. In: *Cader nos Temáticos de Química Nova na Escola*. DE PAOLI, M.-A. e MALDANER, O.A. (Eds.). n. 2, p. 5-8, 2001.

Quadro 2: Consumo de materiais para embalagens no Brasil, em toneladas.

	1990	1998	1999	2005
Plástico (exceto PET)	384	739	785	1036
PET	4	273	276	354
Papéis	1213	1917	2053	2686
Alumínio	19	184	180	225
Vidro	891	841	822	1004

**Abstract:** Knowing (Recognizing) PET – The goal of this paper is to offer to teachers supplementary material for the addressing of environmental questions in chemistry classes. The chosen theme was the packaging of soft drinks known as PET. A discussion on the relationship between this material's constitution, properties and its increasing use is presented.

**Keywords:** PET, environmental education, plastics

## ANEXO B – A tecnologia da reciclagem de polímeros



### UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

Quim. Nova, Vol. 28, No. 1, 65-72, 2005

#### A TECNOLOGIA DA RECICLAGEM DE POLÍMEROS

Márcia Aparecida da Silva Spinacé\* e Marco Aurelio De Paoli  
Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, CP 6154, 13084-971 Campinas - SP

Recebido em 10/10/03; aceito em 18/6/04; publicado na web em 12/11/04

Revisão

THE TECHNOLOGY OF POLYMER RECYCLING. Solid municipal waste contains a large volume of polymers and its final disposal is a serious environmental problem. Consequently, the recycling of the principal polymers present in the solid waste is an alternative. In this review we describe the mechanical and chemical recycling of polymers and the energy recovery from plastic wastes. Polymer recycling involves not only the development of processing technologies, but also the solution of many chemical and analytical problems. The technological, economical and social aspects of polymer recycling are also considered.

Keywords: polymer; recycling; post-consumer polymer.

#### INTRODUÇÃO

Os polímeros são macromoléculas caracterizadas por seu tamanho, sua estrutura química e interações intra e intermoleculares. Possuem unidades químicas que são unidas por ligações covalentes, que se repetem ao longo da cadeia. Eles podem ser naturais, como a seda, a celulose, as fibras de algodão, etc., ou sintéticos, como o polipropileno (PP), o poli(tereftalato de etileno) (PET), o polietileno (PE), o poli(cloreto de vinila) (PVC), etc.<sup>1,2</sup>. Os polímeros são classificados como termoplásticos (plásticos), termofixos, borrachas e fibras<sup>4</sup>. O termo plástico vem do grego, *plastikos*, que significa material *adequado à moldagem*. Os plásticos são materiais que, embora sólidos à temperatura ambiente em seu estado final, quando aquecidos acima da temperatura de “amolecimento” tornam-se fluidos e passíveis de serem moldados por ação isolada ou conjunta de calor e pressão<sup>1</sup>. Alguns exemplos de termoplásticos são o PP, o PE, o PET, o PVC e o poliestireno (PS). Os termoplásticos são moldáveis a quente e possuem baixa densidade, boa aparência, são isolantes térmico e elétrico, são resistentes ao impacto e possuem baixo custo, portanto, apresentam uma larga faixa de aplicações. Devido a estas propriedades o consumo dos polímeros vem crescendo no Brasil e no mundo. No Brasil em 1998 o consumo de termoplásticos era de cerca de  $3 \times 10^6$  t, em 2000 foram produzidos cerca de 850 e 660 mil t de PP e de PVC; em 2002 a produção de PET, de polietileno de alta densidade (PEAD) e de PS foi cerca de 350, 800 e 314 mil t, respectivamente<sup>5,6</sup>.

Apesar da existência de uma grande variedade de termoplásticos, apenas cinco deles, ou seja, o PE, o PP, o PS, o PVC e o PET representam cerca de 90% do consumo nacional. Dentre estes termoplásticos o PET apresenta um dos maiores índices de crescimento em consumo no País, acima de 2.200% na última década<sup>9</sup>. No Brasil, em 1997, os principais termoplásticos foram utilizados em embalagens primárias (31%), descartáveis (22%), construção civil (14%), outros materiais (13%), produtos ao consumidor (6%), filmes (5%), eletrodomésticos (5%), fibras (3%) e setor automotivo (1%)<sup>10</sup>.

Segundo levantamentos feitos em grandes cidades brasileiras, os principais polímeros encontrados nos resíduos sólidos urbanos são o polietileno de alta e baixa densidade (PEAD e PEBD), o PET, o PVC e o PP. Outros tipos de polímeros encontrados correspondem a apenas 11% do total<sup>1</sup> (Figura 1).

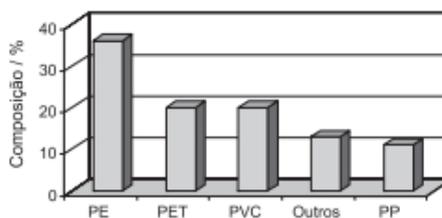


Figura 1. Termoplásticos mais encontrados no resíduo sólido urbano brasileiro

De modo geral, as indústrias que estão mais interessadas em reciclar seus resíduos poliméricos são dos segmentos de embalagens e automotivo<sup>11</sup>. A energia gasta para o transporte é consideravelmente reduzida ao substituir embalagens de vidro por polímero. Por exemplo, um caminhão carregado de água mineral engarrafada em vidro está, na verdade, transportando 57% em massa (m/m) de água e 43% m/m de vidro<sup>12-14</sup>. Em 2000 no Brasil, cerca de 15 e 26% dos produtos foram embalados por termoplásticos rígidos e flexíveis, respectivamente. Nos EUA estes valores foram de 21 e 9%<sup>15</sup>.

Em 2002 a Datamark<sup>15</sup> divulgou dados da evolução do volume ( $10^3$  t) e da taxa de crescimento (em milhões de US\$) dos seguintes termoplásticos: PEBD, PEAD, PS, PVC, PP e PET, que foram utilizados no Brasil para produção de embalagens no período de 1982 a 2002. Estes dados mostraram que o PEAD (% volume de 929 e % valor de crescimento de 1304) e o PP (% volume de 464 e % valor de crescimento de 448) apresentaram um aumento significativo de volume e da taxa de crescimento, comparado ao PVC que apresentou uma diminuição nestes valores (% volume de -21 e % valor de crescimento de -8). O PEBD (% volume de 36 e % valor de crescimento de 43) e o PS (% volume de 120 e % valor de crescimento de 152) apresentaram um aumento menos significativo. Não é possível fazer uma comparação do PET, pois ele só foi citado a partir de 2002. No entanto, ele apresentou dados de volume e valor comparáveis ao PEAD.

Os polímeros mais reciclados após o uso neste setor são embalagens de PET, de PVC, de PP e de PE, engradados de PEAD e filmes de PE, PP, PVC e PET<sup>16</sup>.

\*e-mail: marcias@iqm.unicamp.br

## RECICLAGEM DE POLÍMEROS

Em 1996 foi estimado que a reciclagem de polímeros no Brasil crescia em média 15% ao ano desde o início da década<sup>17</sup>. Em 2000, a Plastivida (marca registrada de propriedade da ABIQUIM, Associação Brasileira da Indústria Química) estimou um índice médio de reciclagem em torno de 17,5%. As pesquisas mostraram as taxas de reciclagem de polímeros na Grande São Paulo, Bahia, Ceará, Rio de Janeiro e no Rio Grande do Sul que apresentou a maior taxa, de 27,6%<sup>8</sup>. O PE e o PP são os polímeros reciclados por um maior número de empresas recicladoras, e cerca da metade destas empresas reciclam de 20 até 50 t/mês, poucos superam a faixa de 100 t/mês. Entre as principais aplicações dos polímeros reciclados estão as utilidades domésticas. Os preços dos polímeros pós-consumo para reciclagem variam dependendo da oferta por região, das condições (sujo ou limpo, solto ou enfardado) e da origem (sucateiros, coleta seletiva, catadores, unidades de triagem). Embora muitos recicladores comercializem polímero reciclado na forma de granulado, a maioria deles transformam o polímero até obtenção do produto final<sup>18</sup>.

Dentre os polímeros reciclados, o PET destaca-se pelo alto índice de reciclagem atingido em um curto período de existência<sup>19</sup>. No início dos anos 80 os EUA e o Canadá reciclavam o PET para fazer enchimento de almofadas, posteriormente, com a melhora na qualidade do PET reciclado, surgiram aplicações importantes, como tecidos e recipientes para produtos não alimentícios. Na década de 90 o governo americano autorizou o uso do material reciclado em embalagens multicamadas para alimentos onde o material reciclado não tem contato com o alimento, pois fica na camada intermediária<sup>20</sup>. Atualmente, nos EUA e em alguns países da Europa é permitida a utilização de PET reciclado para a confecção de embalagens monocamadas que têm contato direto com alimentos. Para este fim foram desenvolvidas tecnologias conhecidas como "bottle-to-bottle" que envolvem etapas de lavagem, descontaminação, cristalização, pós-condensação no estado sólido e extrusão do PET. Alguns dos processos patenteados são o supercleaning<sup>TM</sup>, Hybrid UnPET<sup>TM</sup>, Supercycle<sup>TM</sup>, Erema<sup>TM</sup> entre outros<sup>21-24</sup>.

No Brasil, de acordo com a portaria nº 987 de 1998 da Secretaria de Vigilância Sanitária do Ministério da Saúde, apenas é possível a utilização de PET pós-consumo em embalagens multicamadas destinadas ao acondicionamento de bebidas carbonatadas não alcoólicas<sup>25</sup>. Portanto, os artefatos fabricados de polímeros reciclados têm limitações de aplicação, ou seja, não podem ser utilizados em contato com bebidas, remédios, alimentos, brinquedos e material de uso hospitalar pois, dependendo do uso anterior, ele pode estar contaminado<sup>26,27</sup>. Então, o PET reciclado é utilizado como fibra têxtil (41%), mantas de não tecido (16%), cordas (15%), resinas insaturadas (10%), embalagens (9%), cerdas de vassouras e escovas (5%) e de outros produtos (4%)<sup>28,29</sup>.

Visando reduzir o descarte dos polímeros reciclados é conveniente que estes sejam utilizados em aplicações de longa vida útil, como pavimentação, madeira plástica, construção civil, plasticultura, indústria automobilística e eletroeletrônica, etc.

## METODOLOGIAS DE RECICLAGEM DE POLÍMEROS

A reciclagem de polímeros pode ser classificada em quatro categorias: primária, secundária, terciária e quaternária<sup>30,31</sup>.

**Reciclagem primária:** consiste na conversão dos resíduos poliméricos industriais por métodos de processamento padrão em produtos com características equivalentes àsquelas dos produtos originais produzidos com polímeros virgens; por exemplo, aparas que são novamente introduzidas no processamento.

**Reciclagem secundária:** conversão dos resíduos poliméricos

provenientes dos resíduos sólidos urbanos por um processo ou uma combinação de processos em produtos que tenham menor exigência do que o produto obtido com polímero virgem, por exemplo, reciclagem de embalagens de PP para obtenção de sacos de lixo.

**Reciclagem terciária:** processo tecnológico de produção de insumos químicos ou combustíveis a partir de resíduos poliméricos.

**Reciclagem quaternária:** processo tecnológico de recuperação de energia de resíduos poliméricos por incineração controlada.

A reciclagem primária e a secundária são conhecidas como reciclagem mecânica ou física, o que diferencia uma da outra é que na primária utiliza-se polímero pós-industrial e na secundária, pós-consumo. A reciclagem terciária também é chamada de química e a quaternária de energética.

## Reciclagem mecânica

A reciclagem mecânica pode ser viabilizada através do reprocessamento por extrusão, injeção, termoformagem, moldagem por compressão, etc. Para este fim são necessários alguns procedimentos que incluem as seguintes etapas: 1) *separação do resíduo polimérico*, 2) *moagem*, 3) *lavagem*, 4) *secagem*, 5) *reprocessamento* e, finalmente, a transformação do polímero em produto acabado. Existem variações nestas etapas devido à procedência e o tipo de polímero, além das diferenças de investimentos e equipamentos utilizados nas plantas de processamento<sup>31</sup>. Não existem muitos detalhes sobre os processos industriais devido ao interesse econômico das indústrias que atuam neste setor, que normalmente protegem seus procedimentos por patentes<sup>32,33</sup>. Os esforços atuais estão direcionados no sentido de se obter um produto acabado obtido de polímero reciclado que possua propriedades o mais próximas possíveis do polímero virgem, para serem empregados na confecção de materiais com aplicações mais nobres.

A etapa de *separação* é importante, pois através dela é necessário limitar as impurezas a níveis inferiores a 1% m/m. A presença de macrocontaminantes, como vidro, papel, metal ou outros polímeros, mesmo em concentrações pequenas pode alterar as propriedades do polímero<sup>34</sup>. Dependendo da forma de coleta, das necessidades do mercado ou do custo de mão-de-obra, a separação dos polímeros pode ser manual ou automatizada. A identificação dos polímeros é uma medida importante para facilitar a separação dos mesmos e pode ser utilizada por todos os ramos da indústria de reciclagem de polímeros<sup>29</sup>.

No Brasil como a maioria das empresas de reciclagem é de pequeno porte e a mão-de-obra é barata, a separação é feita principalmente de forma *manual*. A separação dos polímeros pode ser feita através da identificação da simbologia contida no produto acabado<sup>35</sup> (Figura 2) e/ou a utilização de testes simples, como o de odor dos vapores de queima, aparência da chama, temperatura de fusão e solubilidade, os quais são baseados em suas características físicas e de degradação térmica, que são distintas<sup>36,37</sup>. Além disto, os polímeros são utilizados para fabricação de diversos produtos acabados; no entanto, alguns deles só podem ser produzidos a partir de um tipo específico de polímero, como as embalagens de bebidas carbonatadas que são fabricadas de PET, facilitando assim sua identificação e separação do resíduo polimérico<sup>37</sup>.

De modo geral as empresas de reciclagem de polímeros fazem a separação por diferença de densidade<sup>38</sup>. O esquema da Figura 3 mostra como é possível fazer a separação dos resíduos poliméricos misturados através da diferença de densidade, utilizando tanques com água e/ou soluções alcoólicas ou salinas.

A *separação automatizada* baseada na diferença de densidade é muito utilizada para o PE, o PP, o PS, o PVC e o PET e é realizada em tanques de flotação<sup>39,40</sup> ou hidrociclones<sup>38,42</sup>. Quando dois



Figura 2. Simbologia utilizada para identificação de embalagens plásticas, Norma NBR 13.230 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

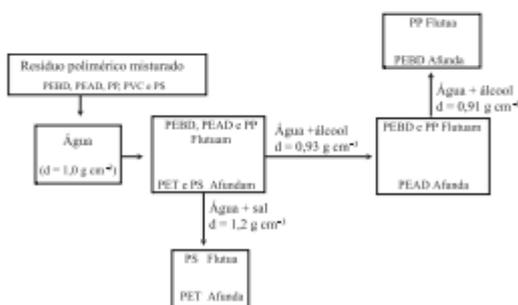


Figura 3. Esquema de separação de polímeros por diferenças de densidade

polímeros apresentam densidades próximas, este procedimento torna-se mais difícil<sup>36,40</sup>. O material metálico é retirado por separação eletrostática<sup>36,44-49</sup>.

Um exemplo da importância da etapa de separação é o caso do PET que sofre hidrólise, devido à presença de impurezas como o PVC, NaOH, detergentes alcalinos, adesivos como EVA, etc. A hidrólise do PET é um processo autocatalítico onde os grupos hidroxílicos terminais reagem formando grupos carboxílicos que aceleram a hidrólise, resultando em pontos pretos no produto transparente. A contaminação acima de 50 ppm de PVC torna o PET fora de especificação para a fabricação de filmes<sup>50</sup>. Algumas tecnologias alternativas têm sido desenvolvidas para detectar o cloro do PVC por fluorescência de raios-X, a fim de separá-lo previamente<sup>51</sup>.

Além destes métodos de separação de polímeros também são utilizados a espectroscopia Raman associada à análise multivariada<sup>52</sup> ou espectroscopia na região do infravermelho próximo, que identificam polímeros transparentes ou coloridos<sup>53,54</sup>.

Apesar de se ressaltar a importância da etapa de separação, também é possível reciclar uma mistura de polímeros. Nos anos 70, foram desenvolvidos processos para a reciclagem de resíduos poliméricos misturados que admitem de 30 a 40% m/m de contaminação por polímero não fundido (polímero com alta temperatura de fusão) e outros tipos de materiais, como papel, madeira, vidro ou metal; os outros 60% m/m são constituídos de poliolefinas que possuem baixa temperatura de fusão e acabam encapsulando os contaminantes durante o processamento<sup>55-62</sup>.

Dois tecnologias, uma japonesa e outra Belga (Syntal) desenvolveram a chamada "madeira plástica". Neste tipo de processo pode-

se utilizar uma mistura de PEBD, PEAD, poli(acrilonitrila-co-butadieno-co-esireno) (ABS), PP e até 20% m/m de PVC, sem problemas de liberação de gases tóxicos. O PS e as poliamidas são aceitáveis até 10% m/m e o PET deve ser usado numa proporção máxima de 5% m/m para não prejudicar a resistência e o acabamento dos perfis. A madeira plástica pode ser utilizada e trabalhada como a madeira comum<sup>63</sup>. A madeira plástica pode ser utilizada em mourões de cerca, cruzetas para sustentação de fios elétricos, pontaleiros de construção civil, madeiras para bancos de praças, postes de sinalização de ruas e estradas, instalações para marinas e locais onde a corrosão seja elevada, pois estes objetos podem ficar expostos a intempéries sem sofrerem uma degradação muito rápida.

No Brasil também foram desenvolvidos produtos provenientes dos resíduos sólidos urbanos; o IMAWOOD<sup>®</sup> (constituído de mistura de poliolefinas provenientes de sacos e sacolas plásticas, principalmente PEBD e PEAD) e o IMACAR<sup>®</sup> (constituído de uma mistura de poliolefinas com predominância de PP e baixo teor de EPDM provenientes de pára-choques descartados), cujas marcas foram registradas pelo Instituto de Macromoléculas<sup>64</sup>.

Depois da separação, os resíduos poliméricos devem ser moídos em moinhos de facas rotativas e peneirados na forma aproximada de "pellets" antes do reprocessamento. Isto permite acomodar melhor o material no equipamento de processamento, como a extrusora<sup>38</sup> ou a injetora. É importante que o material moído tenha dimensões uniformes para que a fusão também ocorra uniformemente. A presença de pó proveniente da moagem é inconveniente, pois este funde antes e atrapalha o escoamento do material nos equipamentos de processo.

O polímero depois de moído é lavado normalmente em tanques contendo água ou solução de detergente aquecido<sup>39</sup>. Nesta etapa é necessária a remoção de resíduos de detergente. A água de lavagem é tratada e reutilizada no processo<sup>65</sup>. A secagem do material é importante, pois alguns polímeros, como os poliésteres ou as poliamidas, podem sofrer hidrólise durante o reprocessamento. O resíduo de detergente pode agir como catalisador na hidrólise. O máximo de umidade residual tolerável para as poliolefinas é de cerca de 1% m/m<sup>66</sup> e para os poliésteres ou as poliamidas deve ser inferior a 0,02% m/m<sup>66</sup>. A secagem pode ser feita por processo mecânico e/ou térmico.

Após a secagem, os polímeros são formulados, ou seja, são colocados aditivos como antioxidantes, plastificantes, cargas de reforço, agentes de acoplamento, etc., dependendo da aplicação final<sup>67-71</sup>. A quantidade e o tipo de antioxidantes e plastificantes adicionados nos polímeros pós-consumo normalmente são os mesmos utilizados para os polímeros virgens. Como cargas de reforço podem ser utilizadas as cargas minerais, como carbonato de cálcio, argilas, sílicas, mica, talco, alumina e dióxido de titânio. As cargas não minerais incluem negro de fumo, esferas e fibras de vidro e vários materiais orgânicos, tais como fibras vegetais. A adição destas cargas de reforço é uma alternativa viável, podendo melhorar as propriedades dos polímeros reciclados e torná-los competitivos em relação aos polímeros virgens. Para melhorar a adesão entre a matriz polimérica e a carga de reforço utiliza-se um agente de acoplamento, o qual é uma molécula bifuncional que se liga quimicamente à superfície das duas fases. Uma forte ligação interfacial favorece a mistura destas fases, promovendo uma melhora nas propriedades de compósitos e blendas. Os agentes de acoplamento mais utilizados são organossilanos, organotitanatos e polímeros funcionalizados (especialmente funcionalizações ácidas)<sup>72-74</sup>. Os agentes de acoplamento são adequados para a reciclagem de laminados multicamadas como PE/PA e PE/PET<sup>70</sup>.

Os aditivos à base de alcóxidos de titanatos ou zirconatos têm sido usados em concentrações da ordem de 0,2% m/m, visando promover a copolimerização ou a compatibilização *in situ* de polímeros, como PELBD (polietileno de baixa densidade linear), policarbonato (PC),

PET e PP e ainda atuaram como pigmento. A utilização destes aditivos promoveu uma melhora nas propriedades mecânicas dos produtos, diminuição da temperatura e dos ciclos de processamento<sup>75-78</sup>.

Também é possível formular os polímeros pós-consumo adicionando pequenas quantidades de material virgem, visando melhorar as propriedades dos polímeros reciclados. As poliolefinas possuem uma estrutura química mais estável comparada aos poliésteres e poliamidas, portanto, são menos reativas e sofrem pouca degradação durante o processamento. Conseqüentemente, para estes materiais a adição de pequenas quantidades de polímeros virgens pode levar a um efeito sinérgico. Já no caso dos poliésteres e poliamidas nem sempre isto ocorre, pois como eles são mais reativos normalmente degradam com maior facilidade durante o processamento. Neste caso, a mistura do material virgem e pós-consumo pode levar à uma separação de fases e, conseqüentemente, a um decréscimo das propriedades mecânicas<sup>68,76,79</sup>.

Após a formulação, o polímero pode ser reprocessado e finalmente obtido um novo artefato.

O processo de extrusão pode ser utilizado para se obter um produto acabado, como por ex. um perfil, ou em conjunto com outros processos como a injeção, a termoformagem etc. Não é conveniente utilizar apenas o processo de injeção ou a termoformagem, pois os produtos obtidos não apresentam uma homogeneidade adequada, influenciando no seu desempenho final. Quando, por ex., os polímeros pós-consumo apresentam uma variedade de cores também é importante fazer a homogeneização prévia (normalmente por extrusão) para depois processar por injeção ou termoformagem. Devido a isto, o processo de extrusão é muito utilizado para a reciclagem de polímeros. O polímero reciclado normalmente é heterogêneo, acarretando em variação das propriedades mecânicas do produto acabado. Esta heterogeneidade está relacionada à degradação que os polímeros sofrem durante as etapas do processo (moagem, lavagem, secagem, extrusão, etc) acarretando em degradação por cisalhamento, termo-oxidativa e por hidrólise. As poliolefinas sofrem principalmente degradação termo-oxidativa e por cisalhamento, podendo resultar em cisão de cadeia e/ou reticulação, levando à diminuição ou aumento da massa molar, respectivamente. Os poliésteres, as poliamidas e as poliuretanas são mais susceptíveis à hidrólise resultando na redução da massa molar. Em todos os casos ocorre um aumento da polidispersidade do tamanho das cadeias, afetando algumas propriedades como aparência, resistência química e características mecânicas.

Alguns trabalhos sobre reciclagem mecânica por extrusão convencional mostraram que existe um limite no qual as propriedades dos polímeros são mantidas, por exemplo, no caso do PET após três ciclos de processamento ocorre uma variação drástica nas propriedades mecânicas tornando-o duro e quebradiço e, portanto, não é possível utilizá-lo para as mesmas aplicações do polímero virgem<sup>80,81</sup>. Outros trabalhos mostraram que é possível reprocessar o PP mais de dez vezes, sem que ocorra alteração significativa nas propriedades mecânicas, o que é desejável do ponto de vista industrial<sup>79,81</sup>.

Para minimizar este problema é importante eliminar a maior quantidade possível de resíduos e de umidade<sup>82</sup>; além disso, no caso do processamento por extrusão é importante a utilização de um desenho específico de rosca, por ex. com barreiras, a qual promove uma plastificação do polímero reciclado de forma mais eficiente que as roscas convencionais, reduzindo assim a degradação dos polímeros durante o processamento<sup>83</sup>. A Figura 4 mostra os desenhos de rosca convencional e com barreiras usadas no processo de extrusão.

A caracterização "on-line" é outro recurso de baixo custo que pode ser usado para garantir a qualidade dos produtos obtidos com polímeros reciclados. Conhecer as propriedades dos polímeros durante o processo de transformação é um conceito promissor, que torna confiável o uso de polímeros reciclados. Já foi testado um sistema



Figura 4. Desenho de roscas usadas no processo de extrusão: a) convencional e b) com barreira

"on-line" onde foram avaliadas a cor e a tenacidade do polímero, permitindo a rejeição de lotes fora de especificação. A determinação de outros parâmetros "on-line" como a composição química e o módulo de Young também estão sendo estudados<sup>84</sup>.

Existe uma grande preocupação com a reciclagem do PVC, devido à possibilidade da liberação de HCl durante o reprocessamento; no entanto, ele pode ser reciclado mecanicamente e deve ser cuidadosamente separado dos outros polímeros<sup>85</sup>. Recentemente, foi desenvolvido pela Solvay/SolVin um processo em larga escala chamado Vinylloop<sup>86</sup> para separar o PVC de outros polímeros através de dissolução seletiva sob pressão em metil-etil-cetona. Neste processo obtém-se o PVC limpo, que pode ser usado em novas formulações<sup>86,87</sup>.

O polímero reciclado é utilizado para fabricação de novos artefatos, normalmente diferentes dos que deram origem ao resíduo.

É crescente o número de trabalhos na literatura sobre a reciclagem mecânica dos termoplásticos encontrados nos resíduos sólidos urbanos reportando estudos sobre os processos e as propriedades dos polímeros reciclados<sup>22,90,91,92,88-100</sup>.

Apesar de apenas os termoplásticos serem considerados recicláveis por métodos mecânicos, também é possível a reciclagem de termofixos e elastômeros. Os termofixos podem ser usados como carga de reforço, ou incorporados para confecção de outros termofixos<sup>101,102</sup>. Os elastômeros reticulados podem ser incorporados na matriz de elastômero virgem ou pós-consumo<sup>103,104</sup>, desulfurizados e misturados com termoplásticos<sup>105</sup>, ou no caso específico de luvas de látex, podem ser descontaminadas, processadas por "mastigação" e misturadas em cilindros, sendo produzida uma massa que posteriormente pode ser utilizada como matéria-prima para as mesmas aplicações da borracha natural<sup>106</sup>.

## Reciclagem química

A reciclagem química ocorre através de processos de despolimerização por solvólise (hidrólise, alcoolise, amilose), ou por métodos térmicos (pirólise à baixa e alta temperaturas, gaseificação, hidrogenação) ou ainda métodos térmicos/catalíticos (pirólise e a utilização de catalisadores seletivos).

Os processos de despolimerização por hidrólise e glicólise de polímeros foram patenteados nos anos 60 e 70<sup>88</sup>. De modo geral, a solvólise é utilizada para polímeros como os poliésteres, as poliamidas e as poliuretanas<sup>107</sup>. Já os métodos térmicos e/ou catalíticos são mais utilizados para poliolefinas. A reciclagem química é muito utilizada pela indústria na Europa e no Japão, enquanto que no Brasil ela ainda está em desenvolvimento. **A hidrólise conduz à recuperação dos monômeros de partida através de uma reação com excesso de água à alta temperatura na presença de um catalisador.** Por exemplo, através da reação de hidrólise do PET é possível obter os produtos de partida que são o etileno glicol e o ácido tereftálico. Estes podem ser utilizados para obtenção do polímero novamente<sup>88,108</sup>.

O processo de hidrólise é utilizado pela United Resource Recovery Corporation que construiu uma planta para recuperar re-

jeito de PET com 40% m/m de impurezas<sup>109</sup>. Usando NaOH como catalisador obteve-se como produto o tereftalato disódico e o etileno glicol. O etileno glicol é recuperado por destilação a 200 - 350 °C.

Na **alcoólise** ou especificamente na metanólise, o material é tratado com excesso de metanol. Em um típico processo de metanólise<sup>38</sup> o PET fundido é misturado com metanol na presença de um catalisador ácido ou básico, aquecendo-se a mistura entre 160 e 240 °C por 1 h, a pressão de 2,03 a 7,09 MPa. A tolerância de impurezas deste método é inferior a 10% m/m, o que é uma vantagem comparada a outros métodos como o reprocessamento, onde o limite é inferior a 1% m/m. Também é possível a despolimerização do PET até a obtenção dos monômeros, utilizando o metanol no seu estado supercrítico<sup>100</sup>. O grau de despolimerização e a seletividade do tereftalato de dimetila aumentam com o aumento da razão metanol/PET e com a temperatura e tempo da reação. A metanólise é utilizada em várias plantas piloto de recuperação como a da Eastman Chemical, da Du Pont e da Hoescht Celanese<sup>38</sup>.

A **glicólise** ocorre quando o polímero é tratado com excesso de glicol, através de uma reação de transesterificação. Por exemplo, a quebra da cadeia do PET com excesso de etileno glicol é realizada em atmosfera de nitrogênio a 4 MPa de pressão e na presença de acetato de zinco como catalisador. O principal produto formado é o oligômero de tereftalato de bis-hidroxietila<sup>111</sup>. Outros exemplos são a despolimerização de poliuretanas (PU) e elastômeros<sup>112,113</sup>. A PU de resíduo de refrigeradores foi despolimerizada em atmosfera inerte, usando etileno glicol como solvente e acetato de potássio como catalisador. Após 2 h de reação usando 2% m/m de catalisador foi obtido um rendimento de 87-95% de polióis<sup>112</sup>.

A **pirólise à baixa temperatura** é a degradação térmica na ausência de ar ou deficiência de oxigênio. Neste caso ocorre principalmente a despolimerização e formação de pequena quantidade de compostos aromáticos e gases leves, como o metano, obtendo-se líquidos de alta temperatura de ebulição, como ceras e materiais de partida para produção de poliolefinas. Na **pirólise à alta temperatura** ocorre a decomposição térmica na ausência de ar ou deficiência de oxigênio, obtendo-se óleos e gases que, posteriormente, serão purificados por métodos petroquímicos padrões. Em poucos casos é possível recuperar os monômeros como produto principal. A pirólise é uma reação endotérmica, portanto é necessária a adição de calor, que pode ser fornecido diretamente (oxigênio-ar) ou indiretamente (troca de calor). Os polímeros com altos teores de impurezas podem ser reciclados por pirólise. No entanto, obtém-se uma grande variedade de produtos de decomposição que são de difícil separação e, além disso, possuem um valor comercial menor que os produtos obtidos por hidrólise. A pirólise é um processo complicado, pois os polímeros possuem baixa condutividade térmica e a degradação das macromoléculas requer alta quantidade de energia. A pirólise de polímeros tem sido estudada em vasos de fundição, alto forno, autoclaves, tubos reatores, forno rotatório, reator de leito fluidizado, etc.<sup>114-119</sup>.

No Japão, uma planta de pirólise de leito fluidizado opera com ar ou oxigênio como gás fluidizante no reator. A oxidação parcial gera parte da energia de fissão necessária e parte do produto é queimado. Os produtos oleosos são parcialmente oxidados e o conteúdo de sua energia é cerca de 10% menor que os hidrocarbonetos puros<sup>38</sup>.

No caso do PVC os produtos de pirólise consistem principalmente de HCl (56% m/m) e negro de fumo, enquanto que a composição de outros polímeros é similar à obtida para o PE. O HCl proveniente da decomposição do PVC pode ser neutralizado com óxido de cálcio, formando o cloreto de cálcio. Quando são formadas grandes quantidades de cloreto de cálcio pode ocorrer o entupimento do fluidizador. A partir de poliésteres, poliamidas, poliuretanas e materiais contendo celulose são formados o dióxido e o monóxido de carbono<sup>38</sup>.

Os óleos obtidos da pirólise de resíduos poliméricos contêm entre 50-200 ppm de compostos organoclorados. No entanto, não foi detectada a presença de dibenzodioxinas cloradas (altamente tóxicas) nestes compostos, o que foi confirmado por numerosas análises. A quantidade de cloro não deve exceder 10 ppm para que estes compostos sejam utilizados nas plantas petroquímicas<sup>120</sup>. Portanto, é adicionado vapor de sódio no fluxo de gás de pirólise para minimizar a quantidade de halogênios no óleo obtido<sup>121</sup>.

A degradação térmica de polímeros pode também ser realizada na presença de catalisadores, como as zeólitas<sup>122-126</sup>, visando aumentar o grau de conversão e a seletividade dos produtos obtidos<sup>127-130</sup>.

A vantagem da pirólise em relação à combustão é a redução de 5 a 20 vezes no volume do produto gasoso, conduzindo a uma considerável economia na purificação do gás obtido. Adicionalmente é possível obter hidrocarbonetos e, em alguns casos, produtos químicos brutos com alto valor comercial.

A **gaseificação**<sup>38</sup> é um processo onde é inserido oxigênio insuficiente para que ocorra a combustão completa, ocorrendo simultaneamente a pirólise e a combustão no interior do leito. Neste processo que ocorre na presença de oxigênio e vapor d'água em temperaturas entre 1200 e 1500 °C são recuperados CO e H<sub>2</sub> e pequenas quantidades de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O e alguns gases inertes. Goulart e colaboradores<sup>131</sup> estudaram o processo de gaseificação de rejeitos de pneus em leito fluidizado e observaram que os subprodutos do processo possuem elevado potencial de utilização na indústria, tanto com insumos de processos produtivos (negro de fumo) como energético (voláteis e óleo obtido a partir da condensação dos vapores da gaseificação).

Na **hidrogenação** a quebra das cadeias poliméricas é inicialmente feita termicamente, resultando em radicais livres altamente reativos, os quais são posteriormente saturados com hidrogênio, obtendo-se hidrocarbonetos leves como metano, etano, propano e mistura de hidrocarbonetos na faixa de gasolina e diesel<sup>38</sup>. A hidrogenação ocorre em temperaturas entre 440 a 480 °C e pressão de 15 a 25 GPa. A hidrogenação também é utilizada para reciclar resina epóxi reticulada com anidrido ftálico, usando tetralina e 9,10-diidroantraceno na temperatura de 340 °C por 2 h, recuperando cerca de 99% de produtos como fenol, *p*-isopropilfenol e anidrido ftálico. A hidrogenação também pode ser usada para reciclar resina fenólica, resinas melânicas e poliéster insaturado<sup>132</sup>.

Os métodos de despolimerização permitem obter os monômeros de partida, que podem ser purificados por métodos convencionais e re-polimerizados, formando polímeros virgens.

### Reciclagem energética

Se o reuso do resíduo polimérico não é prático ou econômico, é possível fazer uso de seu conteúdo energético através da **incineração**. No Japão, os resíduos sólidos urbanos são pré-separados em materiais combustíveis e não combustíveis para serem incinerados. Neste país em 1993, cerca de 50% dos resíduos sólidos urbanos contendo 67% de resíduos poliméricos foram incinerados em dois mil incineradores municipais<sup>32</sup>. O conteúdo de energia dos polímeros é alto e muito maior que de outros materiais. O valor calórico de 1 kg de resíduo polimérico é comparável ao de 1 L de óleo combustível e maior que o do carvão. Os resíduos poliméricos contidos no resíduo sólido urbano contribuem com 30% deste valor calórico, permitindo a produção de eletricidade, vapor ou calor<sup>31</sup>.

Os polímeros que contenham halogênios (cloro ou flúor) em suas cadeias podem causar problemas durante a combustão devido à liberação de HCl ou HF, podendo também ser uma fonte de emissão de dioxinas<sup>133</sup>. Atualmente é utilizado gás de lavagem reduzindo a emissão de HCl aos limites legais. Os polímeros contendo nitrogênio em

sua estrutura liberam  $\text{NO}_x$ . Além disso, na combustão pode ocorrer a liberação de metais, compostos orgânicos provenientes de tintas, pigmentos, cargas ou estabilizantes presentes nos polímeros<sup>31</sup>.

#### ASPECTOS ECONÔMICOS, SOCIAIS E AMBIENTAIS RELACIONADOS À RECICLAGEM DE POLÍMEROS

Os polímeros são considerados os grandes vilões ambientais, pois podem demorar séculos para se degradar e ocupam grande parte do volume dos aterros sanitários, interferindo de forma negativa nos processos de compostagem e de estabilização biológica. Além disso, os resíduos poliméricos quando descartados em lugares inadequados, como lixões, rios, encostas, etc., causam um impacto ainda maior ao meio ambiente. Portanto, a reciclagem de forma sistemática é uma das soluções mais viáveis para minimizar o impacto causado pelos polímeros ao meio ambiente. Vários aspectos motivam a reciclagem dos resíduos poliméricos contidos nos resíduos sólidos urbanos, a economia de energia, a preservação de fontes esgotáveis de matéria-prima, a redução de custos com disposição final do resíduo, a economia com a recuperação de áreas impactadas pelo mau acondicionamento dos resíduos, o aumento da vida útil dos aterros sanitários, a redução de gastos com a limpeza e a saúde pública e a geração de emprego e renda.

Para se garantir o sucesso da reciclagem de polímeros são necessárias quatro condições básicas: 1) contínuo fornecimento de material bruto para uma organização adequada de coleta, separação e esquemas de pré-tratamento, 2) tecnologia de conversão adequada, 3) mercado para o produto reciclado e 4) viabilidade econômica<sup>32</sup>. No entanto, o abastecimento de materiais recicláveis tem crescido muito mais rápido que a capacidade de convertê-los em produtos usáveis e o preço destes materiais tem flutuado bastante, tornando difícil o planejamento de um sistema completo<sup>33</sup>.

Do ponto de vista econômico a reciclagem de polímeros não é considerada uma atividade com alto retorno financeiro, principalmente devido ao custo da coleta seletiva, que pode ser até cerca de oito vezes maior que a convencional<sup>34</sup>. Além disso, no Brasil, o resíduo polimérico pós-consumo é taxado em 15% de IPI para o PET e 5% para os demais polímeros, segundo decreto 4.544 e tabela do IPI (decreto 4.542), ambos de 26/12/2002<sup>35</sup>. A redução na tributação irá incentivar a atividade de reciclagem, criando mais empregos e gerando riquezas.

Apesar destes fatores influenciarem os aspectos econômicos, o setor de reciclagem movimentou US\$ 160 bilhões/ano, com a comercialização de 600 milhões de t de produtos e emprega 1,5 milhão de pessoas, e foi estimado que este setor investe cerca de US\$ 20 bilhões/ano e que 1/3 do comércio em volume é internacional<sup>36</sup>. Conseqüentemente, a reciclagem de materiais é uma perspectiva de negócio que vem sendo disseminada pelo meio empresarial e governamental, devido à possibilidade de sua efetiva implementação. Para isto é necessário que toda tecnologia, conceitos e capacidade empresarial sejam disponibilizados em busca de tornar um objetivo ecológica e economicamente correto, em uma realidade economicamente viável. É importante ressaltar que os produtos reciclados obtidos por reciclagem mecânica sempre competirão com os produtos do mercado de "commodities" sob as variações cíclicas de preços. Atualmente, é quase impossível gerir uma empresa de reciclagem mecânica de médio porte que possui uma estrutura gerencial clássica. Devido a isso ocorreu o fechamento de várias empresas desse tipo nos EUA, em especial na área de PET. Conseqüentemente, apenas as empresas de grande porte e com modelos administrativos menos complexos resistiram no mercado. Outra condição importante é a necessidade de contratos de fornecimento do resíduo polimérico com municípios ou prestadores de serviço de coleta, em cidades que possuam programas de

coleta seletiva. Ainda é necessário avaliar a quantidade, ou o volume do resíduo polimérico, assim como o tipo de contaminação presente, para se definir qual tipo de reciclagem é a mais adequada ecológica e economicamente<sup>37</sup>.

É crescente o interesse na reciclagem do PET, entretanto, as embalagens de PET recicladas não rendem muito aos recicladores e muitas empresas já faliram também aqui no Brasil, pois a maioria dos interessados em reciclar quer iniciar pelo PET. Este interesse pelas embalagens de PET vem da sua visibilidade nas calçadas, nos lixões, aterros e rios. Aparentemente disponíveis, as embalagens de PET têm como principal destino o lixão. Outros polímeros, como o PE, o PP e o PS têm demanda e oferta bem superior, além de necessitarem investimentos menores. A coleta seletiva é importante para a solução deste problema e sem ela, a reciclagem vai continuar deficiente<sup>38</sup>.

Através de entrevistas nos EUA, foi constatado que o consumidor se mostra interessado em reciclar e até apóia iniciativas nesta área. Na prática, porém ele não quer pagar mais pelos produtos reciclados. Foi verificado também que, tanto o consumidor quanto o fabricante, estão dispostos a pagar um pouco mais (de 10 a 15%) por embalagens "ecologicamente responsáveis", mas este preço adicional ainda é insuficiente<sup>39</sup>. Algumas medidas já foram tomadas, tanto por parte dos fornecedores de material como dos fabricantes, para diminuição da quantidade de material (paredes mais finas, redução de tamanho) que resultaram em benefícios financeiros<sup>36</sup>.

Outro aspecto que vem sendo bastante discutido é a avaliação do ciclo de vida. Esta é feita a partir da definição técnica do processo envolvido para transformar matérias-primas e produtos. Nas diferentes unidades dessa cadeia de produção e consumo são levantados dados quantitativos sobre aspectos ambientais importantes, tais como emissões, consumo de recursos, consumo de energia e geração de resíduos. Uma característica marcante da avaliação do ciclo de vida é o fato de ser a única ferramenta de gestão ambiental aplicada do berço ao túmulo dos sistemas de produção. Ela permite identificar os aspectos ambientais em todos os elos da cadeia produtiva e consumo, desde a exploração das matérias-primas brutas até o uso final, passando pelo transporte, embalagem, reciclagem e destino final dos resíduos. No mercado existem casos clássicos sobre ciclo de vida de produtos. Os mais visíveis, provavelmente, são aplicados a embalagens<sup>37</sup>.

Um estudo detalhado e comparativo de avaliação integrada de ciclo de vida para produtos feitos com PVC e outros materiais foi realizado em 1994 por Jardim e Figueiredo<sup>38</sup>. Neste trabalho foram realizadas análises comparativas entre tubo de PVC e materiais como manilha de barro, tubo de cimento, ferro fundido e aço galvanizado. Também foram comparados os frascos de PVC com frascos de vidro para maionese; embalagens de folha de flandres e PVC para óleo de soja comestível; esquadrias de alumínio e de madeira com esquadrias de PVC e folhas "blister" de PVC com papel cartão. Este trabalho é um dos pioneiros no Brasil em destacar a importância da análise de ciclo de vida de produtos. No entanto, é necessária uma avaliação atualizada considerando o descarte e/ou a reciclagem deste material no Brasil.

Em 2001 foi realizado um estudo sobre a reciclagem de embalagens de PET no Brasil, segundo a metodologia da análise de ciclo de vida<sup>39</sup>. Concluiu-se que quanto maior o índice de reciclagem maior é a redução dos resíduos sólidos, dos níveis de emissão para o ar e a água e do consumo de energia, água, petróleo e gás natural. Também foi realizado um estudo de análise de ciclo de vida de embalagens recicladas de PET e PE na Itália em 2001. Os resultados mostraram que para a produção de 1kg de "flakes" de PET reciclado são consumidos 42-55 MJ de energia, enquanto que para o polímero virgem são necessários mais que 77 MJ. No caso do PE para o polímero reciclado são necessários 40-49 MJ e para o polímero virgem, cerca de 80 MJ de energia. Para estes cálculos assumiu-se que para o uso final não importava se o polímero era virgem ou reciclado<sup>40</sup>.

## CONCLUSÕES

A reciclagem de polímeros é uma alternativa viável para minimizar o impacto ambiental causado pela disposição destes materiais em aterros sanitários. Este tema vem se tornando cada vez mais importante pois, além dos interesses ambientais e econômicos, começam a surgir legislações cada vez mais rígidas no sentido de minimizar e/ou disciplinar o descarte dos resíduos sólidos.

A reciclagem mecânica é a mais utilizada no Brasil devido a vários fatores como custo de mão-de-obra, baixo investimento para instalação de uma planta de reciclagem, grande volume de polímero pós-consumo, etc., ao contrário dos países da Europa e do Japão que utilizam as reciclagens química e energética, majoritariamente. No Brasil, a reciclagem mecânica vem crescendo em volume e aumentando a diversidade e qualidade dos produtos, devido à otimização dos processos. É importante ressaltar que a reciclagem de polímeros, bem como o método de reciclagem a ser empregado, depende de vários fatores, como a quantidade e a qualidade do material, o custo do material e do processamento e a existência de mercado para o produto final. Assim, a coleta seletiva dos resíduos sólidos facilitaria a separação prévia dos polímeros, diminuiria o custo e aumentaria a eficiência da reciclagem. Além disso, o investimento em pesquisas na área de reciclagem de polímeros, como por exemplo, o desenvolvimento de metodologias que permitam realizar a análise de contaminantes de forma mais rápida, é de fundamental importância para obtenção de produtos de melhor qualidade.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PRONEX/CNPq e à FAPESP.

## REFERÊNCIAS

- Mano, E. B.; Mendes, L. C.; *Introdução a polímeros*, 2ª ed., Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 1999.
- Elias, H. G.; *An introduction to polymer science*, 1ª ed., Verlag Chemie: Weinheim, 1997.
- Wan, E.; Galembeck, E.; Galembeck, F.; *Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola* 2002, nº 2, 05.
- Agnelli, J. A. M.; *Polímeros: Ciênc. Tecnol.* 1996, 4, 9.
- D'Almeida, M. L. O.; Vilhena A.; *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*, 2ª ed., IPT/CEMPRE: São Paulo, 2000.
- [http://www.plasticoonline.com.br/revista/pm319/commodities/injecao\\_e\\_extrusao.htm](http://www.plasticoonline.com.br/revista/pm319/commodities/injecao_e_extrusao.htm), acessada em Setembro 2003.
- [http://www.plasticoonline.com.br/revista/pm319/commodities/importacao\\_ata.htm](http://www.plasticoonline.com.br/revista/pm319/commodities/importacao_ata.htm), acessada em Setembro 2003.
- <http://www.plastico.com.br/revista/pm342/reciclagem1.htm>, acessada em Setembro 2003.
- [http://www.plasticoonline.com.br/revista/pm319/commodities/consumo\\_cresceu.htm](http://www.plasticoonline.com.br/revista/pm319/commodities/consumo_cresceu.htm), acessada em Setembro 2003.
- <http://www.datamark.com.br/index2.html>, acessada em Julho 2001.
- Rick, U.; Jenny, T.; Ruster, U.; *Plástico Industrial* 2002, 46, 26.
- Almeida, M. F. M.; Paixão, M.; *Resumos do XXVI Congresso Ibero-americano de Engenharia Ecológica e ambiental*, Lima, Peru, 1998.
- Aguar, A.; Philippi, A. Jr.; *Resumos do XXVI Congresso Ibero-americano de Engenharia Ecológica e ambiental*, Lima, Peru, 1998.
- Pereira, R. C. C.; Machado, A. H.; Silva, G. G.; *Quím. Nova na Escola* 2002, nº 15, 3.
- [http://www.datamark.com.br/ Apresentacao/abieffinal/ABIEFFinal\\_fullscreen.htm](http://www.datamark.com.br/ Apresentacao/abieffinal/ABIEFFinal_fullscreen.htm), acessada em Setembro 2003.
- Kishimoto, A.; Oka, T.; Yoshida, K.; Nakanishi, J.; *Environ. Sci. Technol.* 2001, 35, 2861.
- Furtado, M. R.; *Plástico Moderno* 1996, junho, 8.
- <http://www.plasticoonline.com.br/revista/pm323/plastivida.htm>, acessada em Setembro 2003.
- <http://www.cempre.org.br>, acessada em Setembro 2001.
- Forlin, F.; Faria, J.; *Polímeros: Ciênc. Tecnol.* 2002, 12, 1.
- <http://www.cfsan.fda.gov/~dms/opa-cg3b.html>, acessada em Setembro 2003.
- Franz, R.; Welle, F.; *Food Addit. Contam.* 2002, 19, 502.
- Santos, A. S. F.; Manrich, S.; *Resumos do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros*, Gramado, Brasil, 2001.
- Resumos do Seminário Internacional Reciclagem de PET pós-consumo para contato com alimentos*, Campinas, Brasil, 2003.
- Ferro, S.; *Plástico Moderno* 1999, maio, 8.
- Brandrup, J.; *Makromol. Chem.; Macromol. Symp.* 1992, 57, 57.
- Thorheim, H. R.; Armstrong, D. J.; *Chemtech* 1992, 23, 55.
- <http://www.abipet.com.br>, acessada em Setembro 2003.
- Sammarco, C.; Delfini, L.; *Plástico Industrial* 1999, 7, 106.
- Ehrig, R. J.; Curry, M. J. Em *Plastics recycling: products and processes*; Ehrig, R. J., ed.; Oxford University Press: New York, 1992.
- Kaminsky, W.; *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*, VHC Verlag Publishers Inc, A 21, 1992, cap. 2.
- Nir, M. M.; Miltz, J.; Ram, A.; *Plast. Eng.* 1993, 49, 75.
- Ferro, S.; *Plástico Moderno* 1999, 304, 16.
- Sandani, G.; *Chem. Eng.* 1995, 102, 15.
- Norma NBR 13.230 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).
- Vilhena, A.; *Guia de coleta seletiva de lixo*, 1ª ed., CEMPRE: Compromisso Empresarial para Reciclagem ed.: São Paulo 1999, p. 26.
- Braun, D.; *Simple methods for identification of plastics*, Macmillan Publishing Co., Hanser Publishers: New York, 1982.
- Brandrup, J.; Bittner, M.; Michaeli, W.; Menges, G. Em *Recycling and recovery of plastics*; Willenberg, B., ed.; Hanser Publishers ed.: Munich, 1996.
- Marques, G. A.; Tenório, J. A. S.; *Waste Management* 2000, 20, 265.
- Pascoe, R. D.; O'Connell, B.; *Waste Management* 2003, 23, 845.
- Shen, H. T.; Pugh, R. J.; Forssberg, E.; *Colloids Surf. A* 2002, 196, 63.
- Besendorfer, C.; *Chem. Eng.* 1996, sep., 108.
- Pascoe, R. D.; O'Connell, B.; *Miner. Eng.* 2003, 16, 1205.
- Iuga, A.; Morar, R.; Samuila, A.; Dascalescu, L.; *IEEE Proc.-Sci. Meas. Technol.* 2001, 148, 47.
- Dascalescu, L.; Urs, A.; Dumitran, L. M.; Samuila, A.; *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2003, 39, 362.
- Rafiroiu, D.; Suarasan, I.; Morar, R.; Atten, P.; Dascalescu, L.; *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2001, 37, 766.
- Vlad, S.; Iuga, A.; Dascalescu, L.; *IEEE Trans. Ind. Appl.* 2003, 39, 66.
- Dodhiba, G.; Shibayama, A.; Miyazaki, T.; Fujita, T.; *Mater. Trans.* 2003, 44, 161.
- Inculet, I. I.; Castle, G. S. P.; Brown, J. D.; *Part. Sci. Technol.* 1998, 16, 91.
- Pawlak, A.; Pluta, M.; Morawiec, J.; Galeski, A.; Pracella, M.; *Eur. Polym. J.* 2000, 36, 1875.
- Frish, A.; Razem, C.; *Adv. Mater.* 1995, 7, 513.
- Allen, V.; Kalivas, J. H.; Rodrigues, E. G.; *Appl. Spectrosc.* 1999, 53, 672.
- Inada, K.; Matsuda, R.; Fujiwara, C.; Nomura, M.; Tamon, T.; Nishihara, I.; Takao, T.; Fujita, T.; *Resources Conservation & Recycling* 2001, 33, 131.
- García, D.; Borden, F.; Bouveresse, E.; *J. Vinyl Addit. Technol.* 2001, 7, 214.
- Fang, Z. P.; Zeng, M. F.; Cai, G. P.; Xu, C. W.; *J. Appl. Polym. Sci.* 2002, 82, 2947.
- Xanthos, M.; Narth, K. A.; *Polym. Compos.* 1998, 19, 768.
- Farahmand, F.; Shokrollahi, P.; Mehrabzadeh, M.; *Iranian Polym. J.* 2003, 12, 185.
- Mehrabzadeh, M.; Farahmand, F.; *J. Appl. Polym. Sci.* 2001, 80, 2573.
- Ha, C. S.; Park, H. D.; Cho, W. J.; *J. Appl. Polym. Sci.* 1999, 74, 1531.
- Khait, K.; Torkelson, J. M.; *Polym. Plast. Technol. Eng.* 1999, 38, 445.
- Kukaleva, N.; Simon, G. P.; Kosior, E.; *Polym. Eng. Sci.* 2003, 43, 26.
- Klason, C.; Kubát, J.; Skov, H. R.; *Resumos do International Recycling Congress*, Genebra, Suíça, 1993.
- Souza, W.; *Plástico Moderno* 1993, maio, 13.
- Martins, A. F.; Suarez, J. C. M.; Mano, E. B.; *Polímeros: Ciênc. Tecnol.* 1999, 9, 27.
- Remédio, M. V. P.; Zanin, M.; Teixeira, B. A. N.; *Polímeros: Ciênc. Tecnol.* 1999, 9, 177.
- Al-AbdulRazzak, S.; Jabarin, S. A.; *Polym. Int.* 2002, 51, 164.
- Silva Spinacé, M. A.; Pedrosa, A. G.; De Paoli, M. A.; *Br PI* 201.054-2 2002.
- Silva Spinacé, M. A.; *Tese de Doutorado*, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2000.
- La Mantia F. P.; *Macromol. Symp.* 2003, 194, 101.
- Pfaendner, R.; *Plástico Industrial* 2001, 37, 26.
- Sahnoune, F.; Lopez Cuesta, J. M.; Crespy, A.; *Polym. Eng. Sci.* 2003, 43, 647.
- <http://www.specialchem4polymers.com/resources/articles/printarticle.aspx?id=1355>, acessada em Novembro 2003.
- DiBenedetto, A. T.; *Mater. Sci. Eng. A* 2001, 302, 74.