

# COMPARAÇÃO ENTRE TÉCNICAS SIMPLES E A ANÁLISE DE ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO NA CARACTERIZAÇÃO DE POLÍMEROS RECICLÁVEIS

Comparison between simple technicals and analysis in infrared spectroscopy in recyclable polymer characterization

Fábio E. Jorge<sup>1</sup>, Márcia A.F.S. Neves<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, IFRJ. Rua Lúcio Tavares, 1045, 26530-060, Centro, Nilópolis - RJ, Brasil.

\*Autor para correspondência: [marcia.neves@ifrj.edu.br](mailto:marcia.neves@ifrj.edu.br)

## RESUMO

Os polímeros são associados a problemas ambientais por terem baixa degradabilidade e um descarte equivocado, seja por parte da população ou pelas empresas que não codificam o produto produzido. Este trabalho se propôs a discutir as formas de caracterização dos materiais poliméricos termoplásticos através de técnicas mais simples, como densidade e combustão, utilizadas em cooperativas de reciclagens, e comparando com uma técnica mais avançada, como espectrometria de infravermelho. Como resultado, pôde ser observado que as metodologias para a caracterização dos polímeros utilizados se mostraram satisfatórias. A técnica de IR foi a de maior eficiência, conforme esperado. Observou-se também a importância de se ter uma simbologia correta dos materiais produzidos nas embalagens, pois assim economiza-se tempo na identificação do material para sua reciclagem, aumentando a produtividade, pois não terá uma etapa extra, que seria a de identificação através desses testes.

**Palavras-chave:** polímeros, reciclagem, caracterização.

## ABSTRACT

The polymers are associated with environmental problems, have low degradability and a mistaken disposal, either from the people or companies that do not encode the product produced. This study aimed to discuss ways to characterize the thermoplastic polymeric materials using simple techniques, such as density and combustion, used in recycling cooperatives, and compared to a more advanced technique, such as infrared spectrometry (IR). As a result, it could be noted that the methods for the characterization of polymers used have proved satisfactory. The IR technique was the most efficient, as expected. It also observed the importance of having a correct symbol of the materials in packaging because with it saves up time to identify the material for recycling, improving productivity, because it doesn't has an extra step, which would be identified by these tests.

**Keywords:** polymers, recycling, characterization.

## INTRODUÇÃO

Os polímeros são de muita importância em nossa sociedade, tendo em vista que nos auxiliam em praticamente tudo e tornam nossa vida mais prática em várias ocasiões, pois suas formulações nos garantem boa durabilidade, resistência e outras características industriais, com aplicação em automóveis, informática, alimentos, bebidas, entre outros.

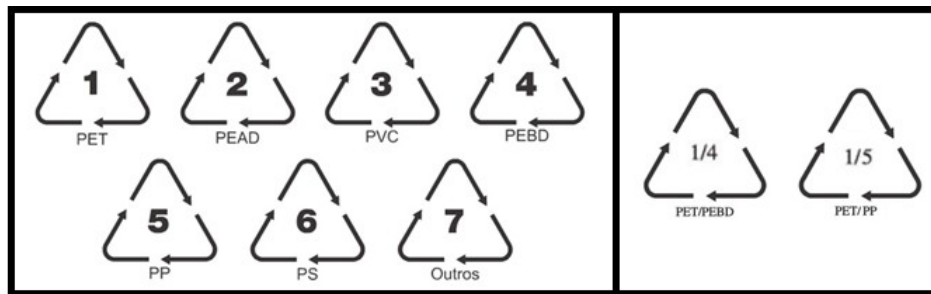
A durabilidade dos plásticos, consequência de sua estabilidade estrutural, e o seu baixo custo fizeram com que fosse um dos materiais com uso mais difundido. Entretanto, nas últimas décadas, justamente a sua grande durabilidade, tornou-se motivo de discussão sobre os impactos causados devido ao descarte inadequado desses materiais, visto que são altamente resistentes a vários tipos de degradação, como por temperatura, luz e produtos químicos (PIATTI & RODRIGUES, 2005). Com o crescimento da produção dos polímeros sintéticos (plásticos) em todo o mundo, os problemas ambientais se tornaram cada vez mais visíveis. A poluição ambiental, alterações climáticas, aumento do acúmulo de lixo e até mesmo a morte de animais de grande e pequeno porte, pode ter por uma das principais causas a produção exagerada de plástico com o descarte incorreto (MAGRINI *et al.*, 2012). Uma das formas de se diminuir esse impacto ambiental é a reciclagem, processo de transformação do polímero, pelo qual o mesmo pode ser reaproveitado. Para que isso ocorra, deve-se ter uma boa separação dos materiais poliméricos. Quando isso não ocorre, se torna inviável a reciclagem, pois com a mistura de polímeros diferentes se tem um novo material com características e propriedades diferentes da desejada (FORLIN & FARIA, 2002).

Os plásticos industriais mais importantes são todos de origem sintética. Poucos, como o acetato de celulose, são obtidos por modificação química de polímeros naturais, sendo empregados na confecção de artefatos (AKCELRUD, 2007). Certos materiais plásticos se destacam por seu baixo preço e grande facilidade de processamento, o que incentiva seu uso em larga escala. São os chamados *commodities*, materiais baratos e usados em aplicações de baixo custo. Os principais plásticos *commodities* são: PEAD e PEBD, PP, PS, PET e o PVC. Há também os chamados plásticos de engenharia, que são resinas que apresentam propriedades superiores aos *commodities*. Seu preço, porém, é bem mais elevado (MANO & MENDES, 2000).

Desde a descoberta dos polímeros até hoje, este material tem sido descartado no meio ambiente de forma errônea, tanto que a elevada presença deste material em lixões, aterros sanitários e no meio ambiente de todos os lugares do mundo não é por acaso. Há uma crescente preocupação com a presença desses materiais poluidores, pois demoram muitos anos para se degradar, mesmo estando em aterros. Alguns países já utilizam os resíduos plásticos na reciclagem energética, porém o método mais usado ainda é a reciclagem mecânica. Estes materiais são na sua maioria *commodities*, plásticos mais difundidos entre os transformadores desta matéria-prima, mas que não possuem as mesmas características dos materiais de engenharia (MANO, 2000). A solução ideal para a despoluição do meio ambiente seria a desintegração dos produtos descartados em partículas, aterradas no solo. A versão tecnológica desta solução é muito difícil e tem motivado a busca de soluções alternativas para o descarte dos resíduos pós-consumidos, dentre elas a reciclagem, que é a forma mais importante para descarte (MANO *et al.*, 2005; MAGRINI *et al.*, 2012). A reciclagem pode ser realizada por diferentes formas, conforme se considere a origem da matéria-prima, sendo os seguintes: *Reciclagem Primária*: recuperação do resíduo da fabricação dentro da indústria geradora como rebarbas, peças mal moldadas e peças plásticas fora de especificação; *Reciclagem Secundária*: recuperação dos resíduos plásticos pós-consumo. Está associada a reciclagem de resíduos plásticos urbanos; *Reciclagem Terciária*: conversão através de reações químicas dos plásticos em produtos químicos que os deram origem (monômeros) ou compostos com baixo peso molecular (oligômeros); *Reciclagem Quaternária*: utilização do resíduo plástico para geração de energia através de incineração.

O sistema de reciclagem é extremamente eficiente - 100% dos materiais podem ser reaproveitados, porém a qualidade do plástico é afetada, tendo em vista que passa por diversos processos que acabam por degradar, mesmo que pouco, o material.

Uma das formas utilizadas pela indústria é incorporar no máximo 50% do material reprocessado (PEREIRA-NETO, 2011). A coleta seletiva é a principal ferramenta para o desenvolvimento da reutilização e da reciclagem. É a “coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme sua constituição ou composição” (BRASIL, 2016). No Brasil, o código de identificação foi alocado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na norma ABNT NBR 13230:2008 – Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis – Identificação e simbologia, de acordo com a Figura 1, onde também são indicados alguns dos usos mais comuns de cada resina (ABNT, 2008).



**Figura 1.** Simbologia de materiais poliméricos de matriz única e de misturas (ABNT, 2008).

Antes de qualquer análise para a identificação do polímero, as diversas resinas podem ser caracterizadas através de um código mundial, criado para possibilitar a identificação imediata de um material plástico reciclável (COLTRO *et al.*, 2008). Esse código traz um número para cada polímero reciclável e/ou as siglas e são impressos no rótulo do produto ou estampados na própria peça. O grande problema é a identificação incorreta desses materiais, pois cerca de 30% das embalagens no Brasil ainda são caracterizadas incorretamente. Se um destes símbolos não estiver presente no artefato a ser reciclado, terá que se dispor de métodos para a sua identificação, que demandam tempo, custo e diminuição da produção, ou seja, são fatores que prejudicam a cadeia de reciclagem no Brasil (COLTRO & DUARTE, 2013). O presente trabalho tem como objetivo a avaliação das metodologias utilizadas na caracterização dos materiais poliméricos termoplásticos, fazendo uma comparação entre metodologias mais simples, utilizadas em cooperativas de reciclagem, e uma mais avançada, como a espectroscopia no infravermelho (IR).

## MATERIAL E MÉTODOS

Embalagens de materiais poliméricos como PEAD, PEBD, PP, PS, PET e PVC foram utilizados na caracterização e comparado com padrões, com exceção do PVC que não se conseguiu o padrão.

**Densidade:** A caracterização por densidade foi realizada seguindo a literatura conforme o trabalho de FRANCHETTI & MARCONATO, 2003. O método consiste em introduzir os plásticos num tanque com água ou outro líquido, solução ou suspensão. Os materiais com densidade superior à do meio afundam e os com inferior flutuam. Para este método ser eficiente, é necessário uma diferença de densidade mínima, sendo a facilidade e eficiência tanto quanto maior for esta diferença. Esse método é muito utilizado na separação das poliolefinas (PE e PP) dos outros plásticos usados em embalagens, usando água como meio. Os Quadros 1 e 2 mostram as densidades dos polímeros e das soluções utilizadas nessa técnica.

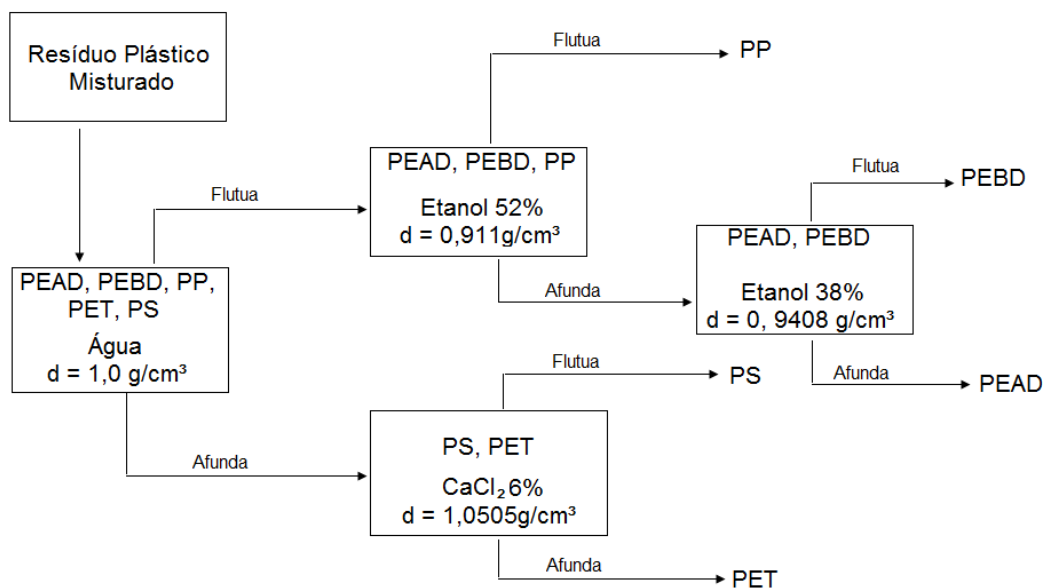
**Quadro 1.** Densidade dos polímeros recicláveis (FRANCHETTI & MARCONATO, 2003).

Polímero	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
PP	0,900 – 0,910
PEBD	0,917 – 0,940
PEAD	0,952 – 0,965
PS	1,04 – 1,05
PET	1,29 – 1,40
PVC	1,30 – 1,58

**Quadro 2.** Concentração e densidades das soluções (FRANCHETTI & MARCONATO, *loc. cit.*).

Solução e Concentração (em água)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Etanol 52% (v/v)	0,911
Etanol 38% (v/v)	0,9408
Etanol 24% (v/v)	0,9549
Cloreto de Cálcio 6% (p/v)	1,0505

Utilizou-se padrões para a comparação dos resultados obtidos com as amostras. Não se utilizou a amostra 6 (correspondente ao PVC) porque segundo a literatura ela possui a densidade próxima ao do PET, não sendo possível a separação por esse método. A sua caracterização será avaliada nos métodos que serão descritos a seguir. A caracterização por densidade foi realizada seguindo o esquema demonstrado na Figura 2.



**Figura 2.** Esquema de caracterização pela diferença de densidade.

**Combustão:** Através da queima do material, pode-se observar a cor, o tipo da chama, o odor e algumas características sutis, que auxiliam na caracterização dos materiais. Através do Quadro 3 se pode observar as características de cada material com a queima.

**Quadro 3.** Características da Combustão dos materiais recicláveis (CANEVAROLO JR., 2006).

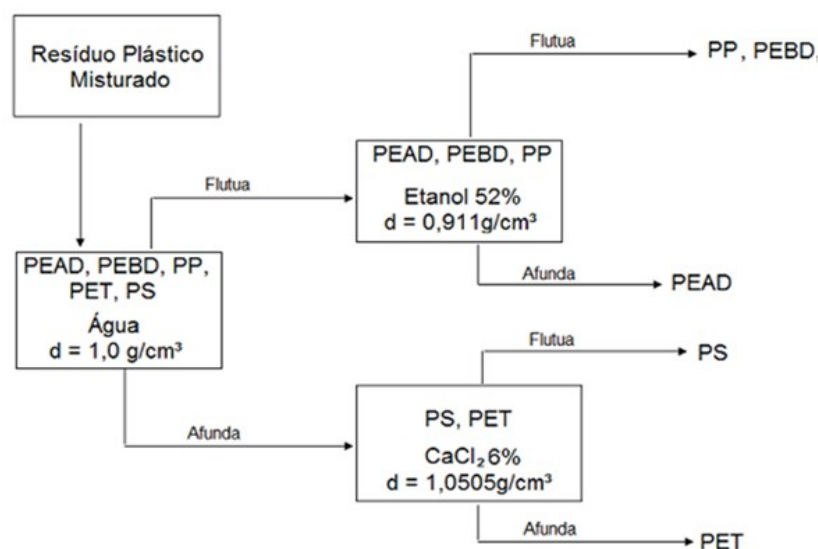
Polímero	Chama	Odor	Características	Temperatura de fusão (°C)
PEAD	Amarela com base azul	Vela queimando	Torna – se claro quando fundido; ignição imediata	135
PEBD	Amarela com base azul	Vela queimando	Torna – se claro quando fundido; ignição imediata	115
PP	Amarela com base azul	Vela queimando	Torna – se claro quando fundido; ignição imediata	165
OS	Amarela com base azul	Adocicado e desagradável	Muita fuligem; amolece, escorre e continua a queimar	230
PET	Amarela	Adocicado	Incendeia e se contrai	255
PVC	Amarela com base verde	Cloro	Ignição moderada; auto – extingüível	210

Espectroscopia do Infravermelho (IR): As amostras utilizadas para a caracterização por IR foram as mesmas utilizadas na caracterização por densidade, adicionando-se a amostra 6, sem a necessidade de tratamento das mesmas. Isso se dá porque as amostras podem ser inseridas diretamente no aparelho, pois o método de refletância total atenuada (ATR) permite que se possam ter espectros quando a amostra entra em contato físico com o cristal da ponta da sonda/aparelho (no caso, um cristal de Germânio). O aparelho de FTIR utilizado foi da marca Thermo Scientific – modelo Nicolet iS5, com leitura na faixa de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

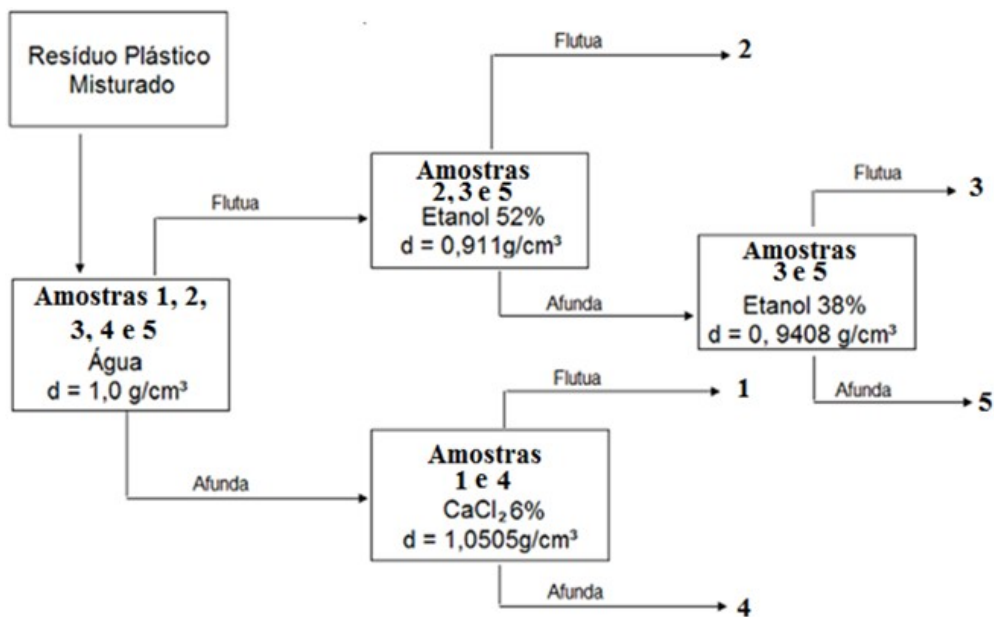
### Densidade

Os resultados da caracterização por densidade dos padrões se encontram na Figura 3.



**Figura 3.** Esquema que mostra o resultado da densidade nos padrões.

Os resultados da caracterização por densidade das amostras se encontram na Figura 4.



**Figura 4.** Resultado da densidade das amostras.

Na separação por água PEAD, PEBD, PP flutuaram e PET e PS afundaram, ou seja, observou-se que tanto as amostras quanto os padrões seguiram o descrito na literatura (FRANCHETTI & MARCONATO, 2003). Na separação pela solução aquosa de cloreto de cálcio 6%, pode-se observar que os materiais constituídos de PET afundaram, enquanto os constituídos de PS flutuaram, confirmando o descrito na literatura sobre o comportamento nessa solução.

Na separação pela mistura etanol/água 52%, observou-se que as amostras 3 e 5 foram mais densas, enquanto a amostra 2 foi menos densa que o meio utilizado. No caso dos padrões, os padrões de PP e PEBD se mostraram menos denso que o meio, enquanto o padrão de PEAD se mostrou mais denso. As amostras seguem o descrito na literatura, pois conforme o informado pelo fabricante, as amostras 3 e 5 (correspondentes ao PEAD e PEBD, respectivamente) possuem maior densidade que o meio utilizado para a separação, enquanto a amostra 2 (PP) possui densidade menor (SANTOS, 2009). No caso dos padrões, teve-se uma mudança: o PEAD que, de acordo com a literatura (FRANCHETTI & MARCONATO, 2003), possui densidade maior que o meio utilizado, flutuou. Uma das prováveis causas para o ocorrido pode ser a diferenciação em sua produção por um tipo de material com peso específico menor. Comercialmente, podem-se obter materiais poliméricos das mais diversas densidades, dependendo da utilização e processo que será aplicado. Essa diferenciação é chamada de grau, ou na forma mais conhecida, em inglês, “*grade*”. Quanto maior o grau do material, maior seu peso específico, e vice-versa (ANTUNES & MERCADO, 2000).

Na separação pela mistura etanol/água 38%, observou-se que a amostra 5 foi mais densa, enquanto a amostra 3 foi menos densa que o meio utilizado. No caso dos padrões, esse teste não foi realizado, pois seria feito para separação dos padrões que seriam mais densos que a mistura etanol/água 52%, mas somente o PEAD se mostrou mais denso, sem a necessidade de se realizar a separação. Segundo o informado pelos fabricantes, a amostra 3 seria PEAD e a amostra 5 seria PEBD, mas no teste realizado, viu-se que na mistura etanol/água 38% o material mais denso foi a amostra 5, que pela literatura (FRANCHETTI & MARCONATO, 2003), deveria flutuar, enquanto o material mais leve foi a amostra 3, que deveria afundar.

Essa alteração pode ter se dado por um simples erro do fabricante no momento da rotulagem ou então por motivos mais técnicos, como aditivações ou tratamentos térmicos para aumentar ou diminuir a cristalinidade.

## Combustão

Os resultados da combustão das amostras se encontram no Quadro 4.

**Quadro 4.** Resultados da combustão dos materiais.

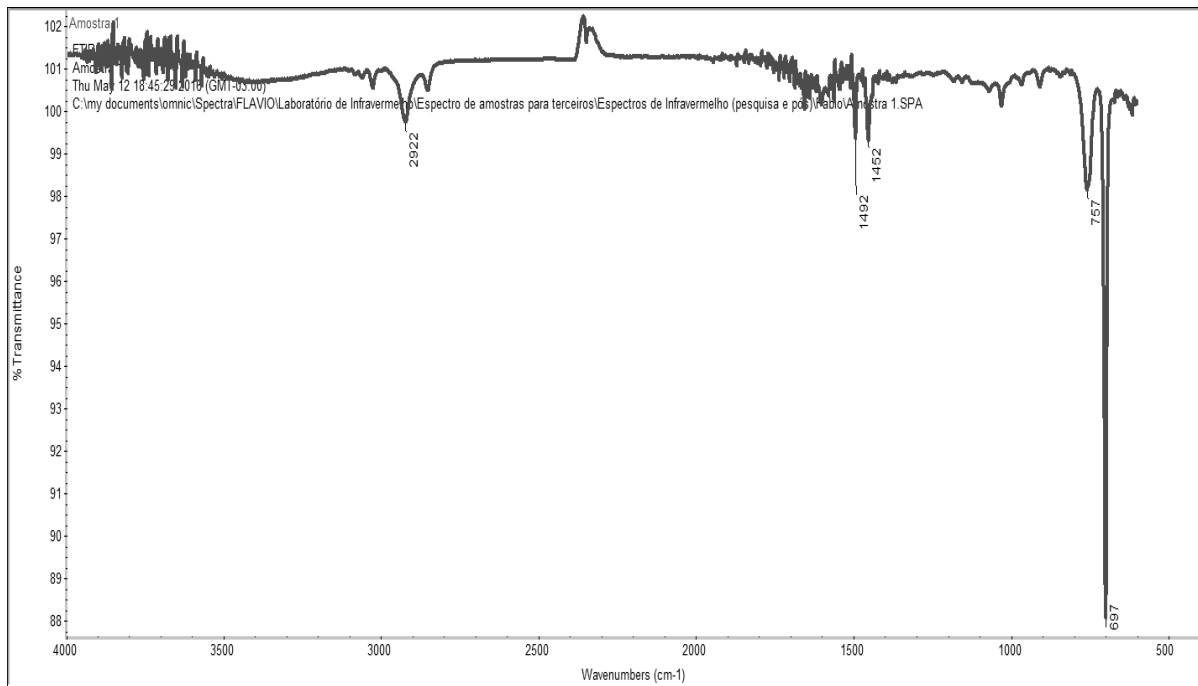
Amostra	Chama	Odor	Características
1	Amarela	Desagradável	Libera muita fuligem; funde, escorre e gotas também queimam
2	Amarela com base azul	Vela queimando	Torna-se claro quando fundido, sem fuligem e ignição imediata
3	Amarela com base azul	Vela queimando	Torna-se claro quando fundido, sem fuligem e ignição imediata
4	Amarela	Desagradável	Libera fuligem e conforme se incendeia, ocorre contração
5	Amarela com base azul	Vela queimando	Torna-se claro quando fundido, sem fuligem e ignição imediata
6	Amarela	Sem cheiro característico	Ignição alta, pouca fuligem e queima contínua

As amostras seguem os mesmas características de queima ditas na literatura (CANEVAROLO JR., 2006). Para as poliolefinas (amostras 2, 3 e 5), se têm apenas a fusão dos materiais, com forte cheiro de vela queimando, como se fossem parafinas, com ignição imediata, fusão rápida e sem fuligem. As amostras 1 e 4 possuem comportamento parecido, pois ambas têm chama amarela e liberam muita fuligem, só diferem na forma de escoamento, enquanto 1 funde e escoar, 4 se contrai. A amostra 1 (PS, segundo os fabricantes), funde e escorre porque além do anel aromático que possui, tem um grupo vinila, sendo essa responsável por essa característica de fusibilidade e queima do material. A amostra 4 (PET, segundo os fabricantes) se contrai porque em seu processamento ela sofre um processo de biorientação, ou seja, ela é estirado tanto verticalmente quanto horizontalmente, para melhorias de suas propriedades, ocasionando tensões na embalagem. Com o aumento na temperatura, as moléculas adquirem mobilidade e voltam a conformação de menor tensão, contraindo-se (ROMÃO *et al.*, 2009).

A amostra 6 (PVC, segundo os fabricantes) é aquela que apresenta características mais diferentes da descrita na literatura (CANEVAROLO JR., 2006). Uma das explicações plausíveis é o fabricante ter errado a simbologia do material, pois na queima o material se assemelhava a uma poliolefina. Outra explicação viável é sobre a plastificação do material, que influenciaria diretamente nas propriedades do material (PIVA *et al.*, 1999).

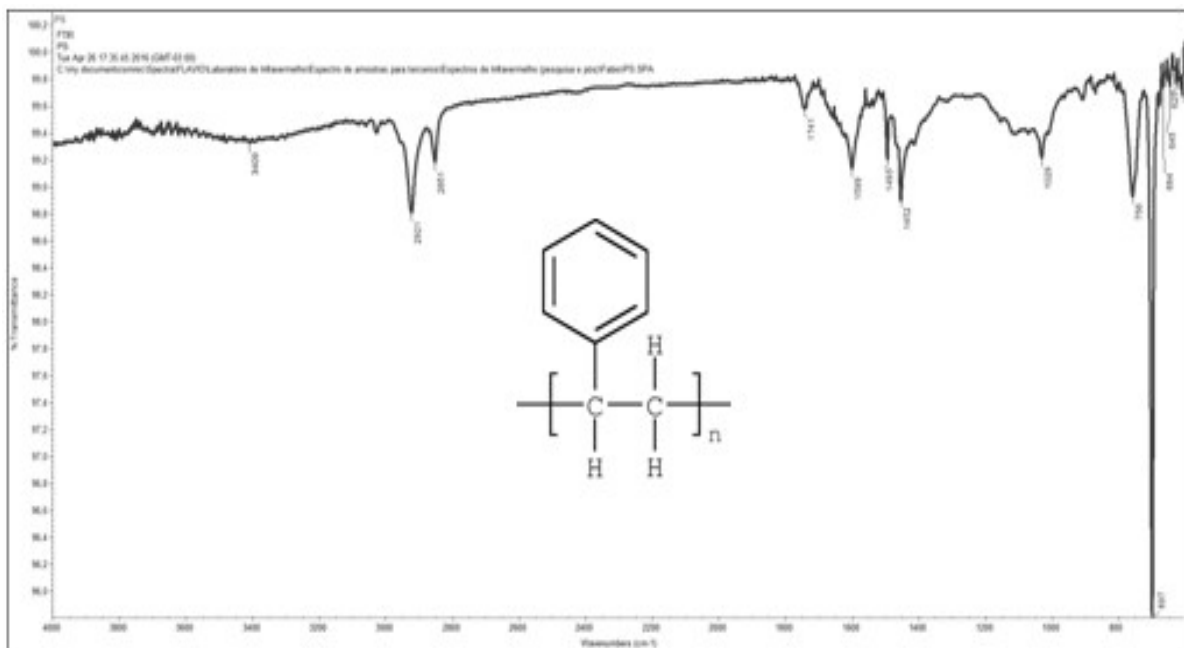
## Espectroscopia no infravermelho

Amostra 1: Tendo em vista o espectro de IR da amostra 1, caracterização de suas bandas e comparando com os padrões, pode-se afirmar que o que mais se assemelha é para o PS, corroborando com as técnicas de caracterização por densidade e combustão. A Figura 5 mostra o espectro da amostra 1.



**Figura 5.** Espectro de IR da amostra 1.

A Figura 6 mostra o espectro do padrão de PS com suas bandas de absorção assinaladas. A banda em 3404 cm<sup>-1</sup> é apenas um sinal errado lido pelo aparelho, provavelmente por algum erro na hora da leitura ou ruído no momento de se incidir a radiação infravermelha por parte do equipamento. A banda em 3080 cm<sup>-1</sup> (não evidenciada no espectro, mas com um formato definido, mesmo que fraco) é relativa as ligações do anel aromático da estrutura do PS. As bandas em 2921 e 2851 cm<sup>-1</sup> correspondem as ligações CH<sub>2</sub> do polímero. A parte aromática também é facilmente identificável pela deformação C=C do anel a 1600-1450 e pela banda em 697 cm<sup>-1</sup>, que sugere um anel monossustituído, conforme é o PS (SANTOS, 2009).



**Figura 6.** Espectro de IR do padrão de PS.



Amostra 2: A Figura 7 mostra o espectro da amostra 2 com suas bandas de absorção características assinaladas. Observando-se o espectro de IR da amostra e a caracterização de suas bandas e comparando com os padrões, pode-se afirmar que o que mais se assemelha é o PP, confirmado também pelas técnicas de caracterização por densidade e combustão.

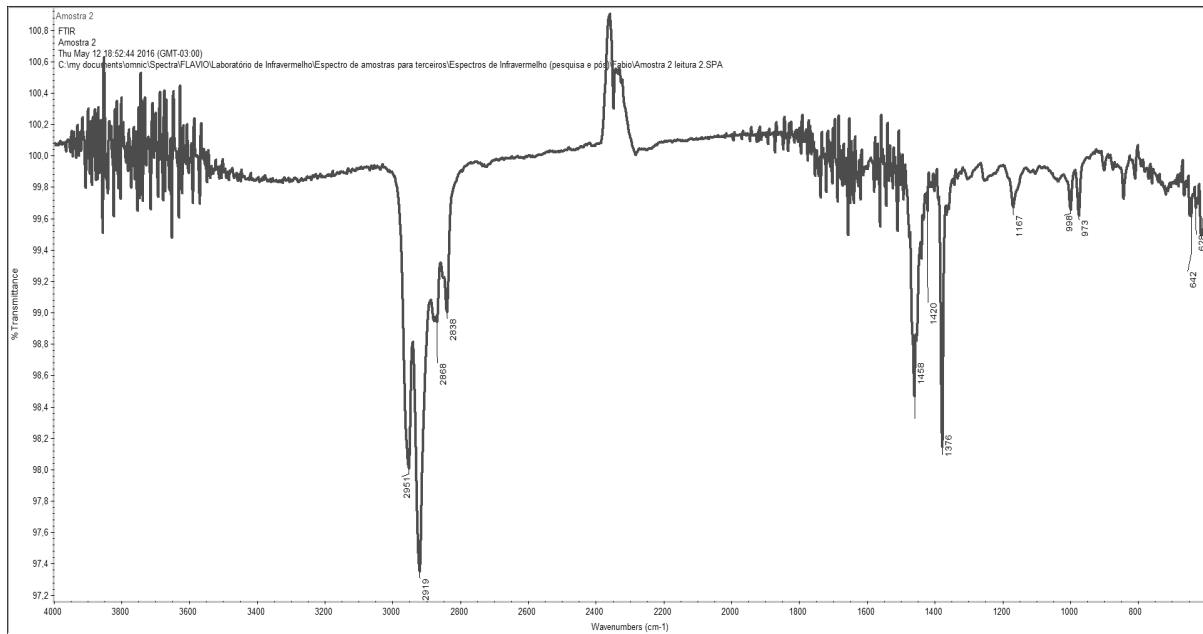


Figura 7. Espectro de IR da amostra 2

A Figura 8 mostra o espectro do padrão de PP com suas bandas de absorção assinaladas. Diferente do PE, o PP possui 4 bandas na região entre 2950 – 2830  $\text{cm}^{-1}$ , pois além da ligação  $\text{CH}_2$  da cadeia principal, possui o grupo metila ( $\text{CH}_3$ ) a cada 2 ligações  $\text{CH}_2$ , e por esse grupo se repetir ao longo da cadeia, também absorve radiação, tanto para as deformações axiais quanto para as angulares.

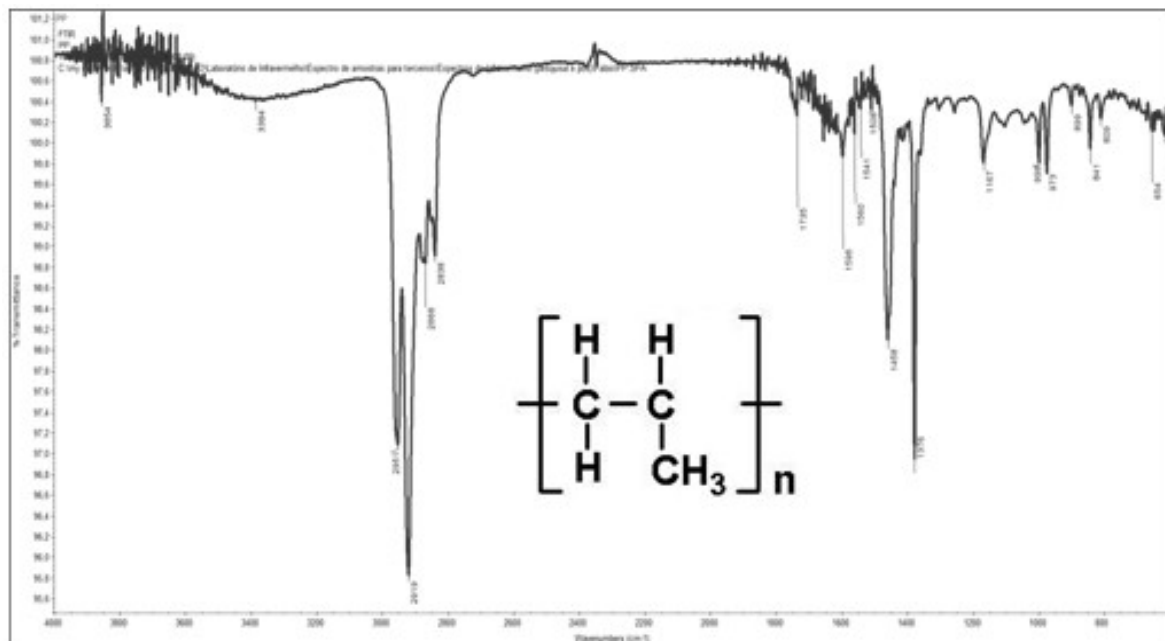


Figura 8. Espectro de IR do padrão de PP.

Amostra 3: A Figura 9 mostra o espectro da amostra 3 com suas bandas de absorção características assinaladas. Observando-se o espectro de IR da amostra e a caracterização de suas bandas e comparando com os padrões, pode-se afirmar que o que mais se assemelha é o PEAD, confirmado também pelas técnicas de caracterização por densidade e combustão. Nesse espectro, vê-se uma banda que não aparece no espectro do padrão de PEAD, que está em  $2359\text{-}2343\text{ cm}^{-1}$ . Essa banda é um erro do aparelho, uma banda de  $\text{CO}_2$  que não foi descontada na leitura. Como explicado anteriormente, uma das causas do PEAD ser transparente era por intermédio da adição de plastificantes ou quenching, mas como não se viu outras bandas no espectro, pode-se observar que provavelmente a amostra passou por um quenching, que tornariam o PEAD menos cristalino e, por consequência, com menor peso específico, explicando os resultados da densidade.

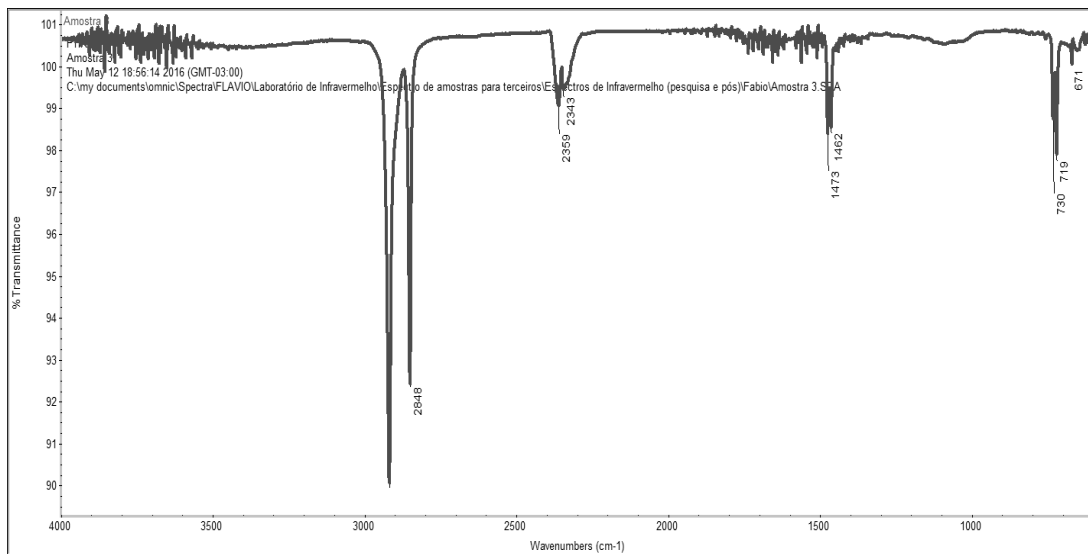


Figura 9. Espectro de IR da amostra 3.

A Figura 10 mostra o espectro do padrão de PEAD com suas bandas de absorção características assinaladas. Por ter uma longa cadeia carbônica de ligações  $\text{CH}_2$ , o PEAD apresenta um espectro relativamente simples, mostrando as deformações existentes nessas ligações.

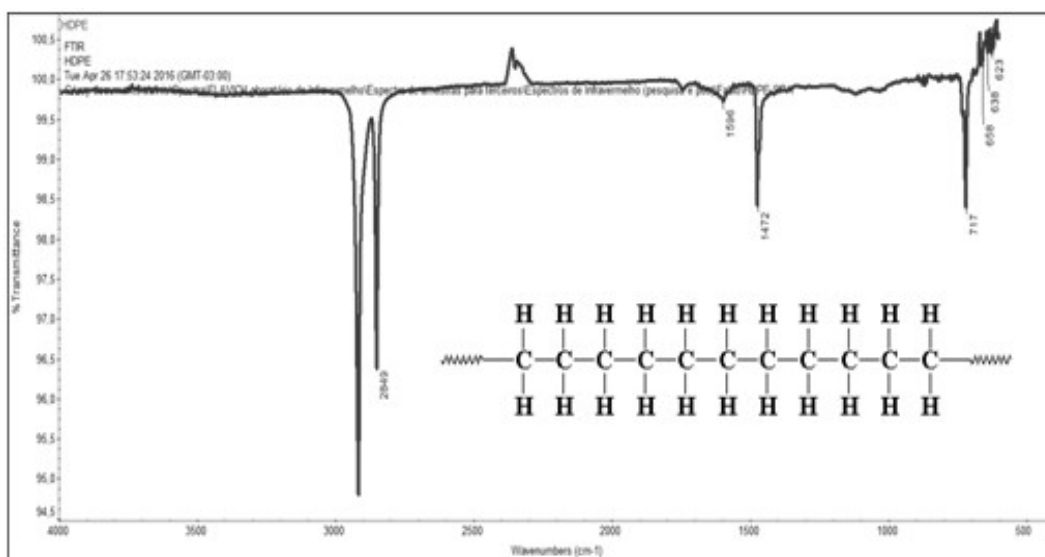


Figura 10. Espectro de IR do padrão de PEAD.

Amostra 4: A Figura 11 mostra o espectro da amostra 4 com suas bandas de absorção características assinaladas. Tendo em vista o espectro de IR da amostra e a caracterização de suas bandas e comparando com os padrões, pode-se afirmar que o que mais se assemelha é para o PET, corroborando com as técnicas de caracterização por densidade e combustão.

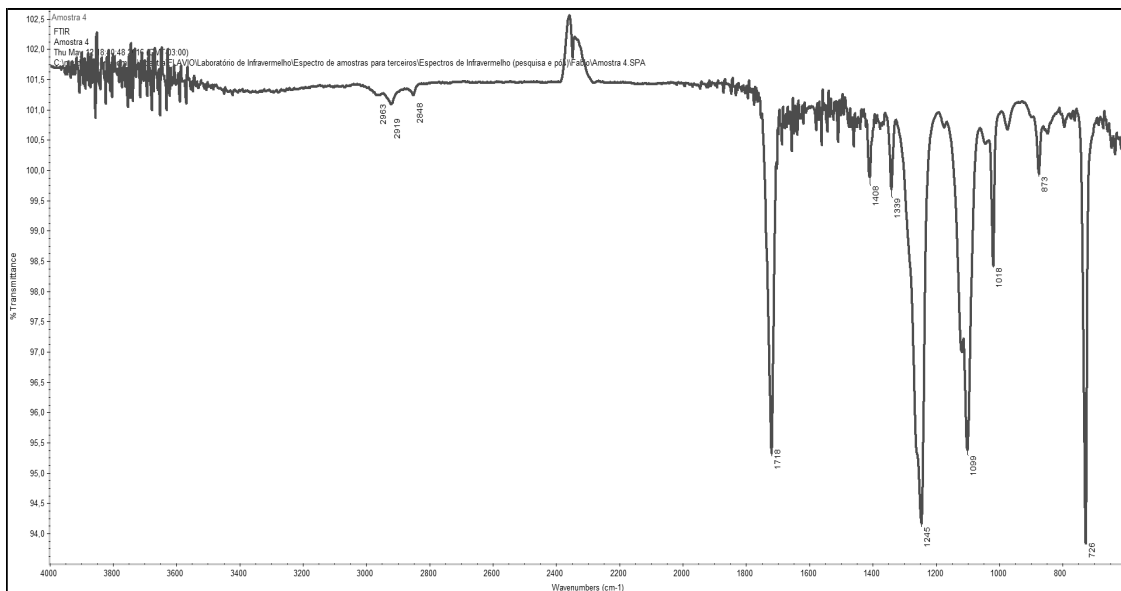


Figura 11. Espectro de IR da amostra 4.

A Figura 12 mostra o espectro do padrão de PET com suas bandas de absorção assinaladas. A banda em 2921 cm<sup>-1</sup> é relativa as ligações CH<sub>2</sub>, conforme mostrado na estrutura do PET. Quando o grupo éster se encontra ligado a um anel aromático, a deformação axial C=O absorve a frequências mais baixas, como nesse caso em 1717 cm<sup>-1</sup>. A parte aromática é facilmente identificável pela deformação C=C do anel a 1600-1450. Dois picos característicos do tereftalato na região da deformação C-O a 1100 e 1300 cm<sup>-1</sup>. A banda a 725 cm<sup>-1</sup> surge a menores frequências do que é usual para um anel benzênico, devido à extensa deslocalização do sistema de eletrons π na molécula, caracterizando um anel parassubstituído (SANTOS, 2009).

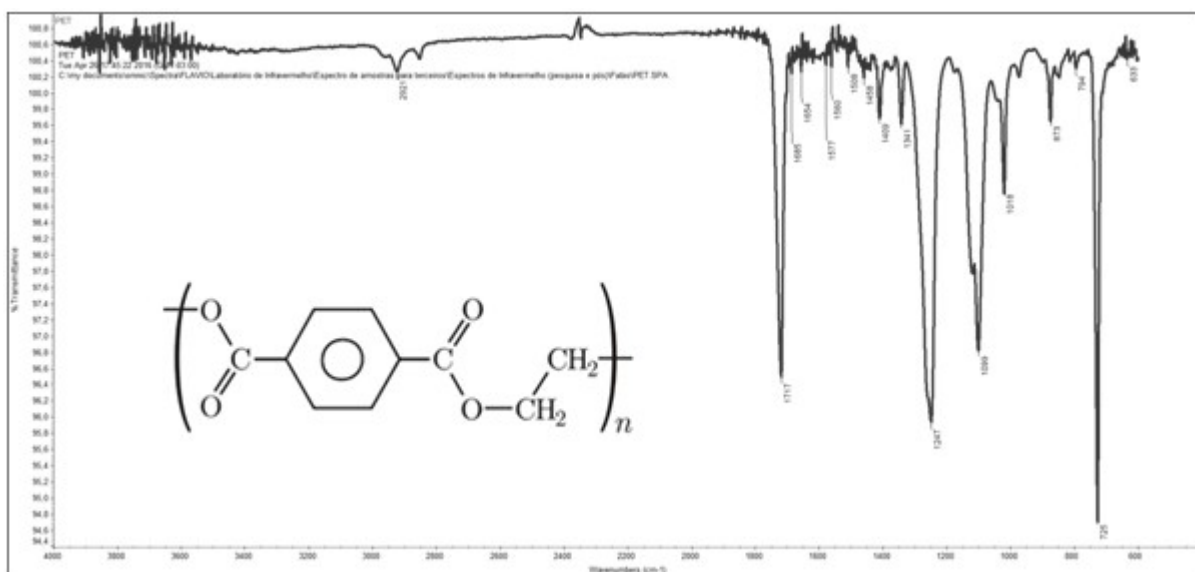


Figura 12. Espectro de IR do padrão de PET.

Amostra 5: A Figura 13 mostra o espectro da amostra 5 com suas bandas de absorção características assinaladas. De posse do espectro de IR da amostra e a caracterização de suas bandas e comparando com os padrões, a amostra 5 mais se assemelha ao PEBD, confirmado também pelas técnicas de caracterização por densidade e combustão. Como explicado anteriormente, uma das causas do PEBD ser opaco seria a cristalização do material ou a adição de cargas inorgânicas, mas pelo não aparecimento de outras bandas, que confirmariam a adição de cargas inorgânicas, é provável que tenha ocorrido o processo de cristalização da amostra, deixando-o opaco, aumentando as propriedades do material e sua densidade.

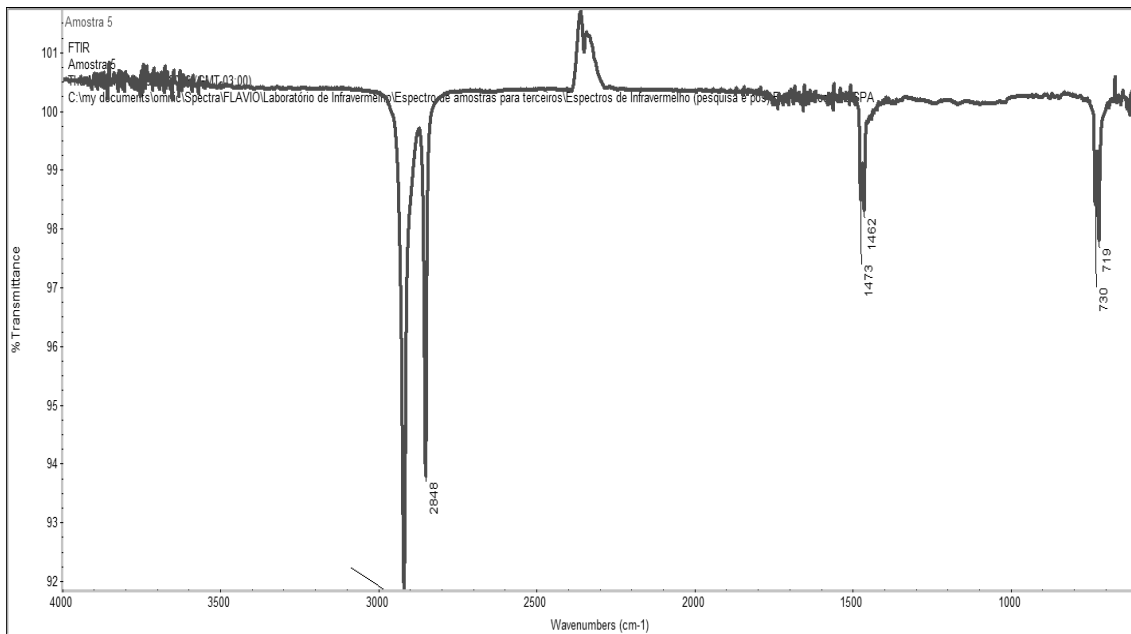


Figura 13. Espectro de IR da amostra 5.

A Figura 14 mostra o espectro do padrão de PEBD com suas bandas de absorção assinaladas. O espectro do PEBD é similar ao PEAD, porque a única diferença entre os dois são as ramificações, que mudam totalmente as propriedades dos materiais, mas a composição do polímero continua a mesma, já que as ramificações também são moléculas de CH<sub>2</sub>.

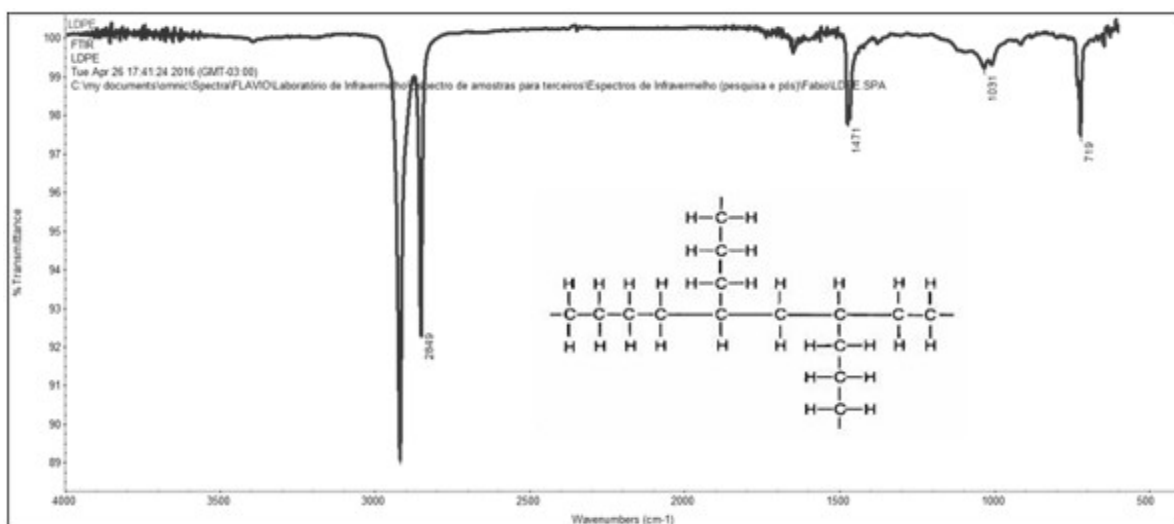


Figura 14. Espectro de IR do padrão de PEBD.

Amostra 6: A Figura 15 mostra o espectro da amostra 6 com suas bandas de absorção características assinaladas. Com o espectro de IR da amostra e a caracterização de suas bandas e comparando com os padrões, a amostra 6 mais se assemelha ao PEAD ou PEBD. Quando se tem o PVC, a caracterização do Cloro se dá pela bandas fortes nas ligações com o CH ( $1250\text{ cm}^{-1}$ ) e diretamente com o Carbono ( $800\text{-}600\text{ cm}^{-1}$ ). Se fosse um PVC plastificado, teria o aparecimento das bandas relativas ao aditivo plastificante (na maioria compostos oxigenados e/ ou nitrogenados).

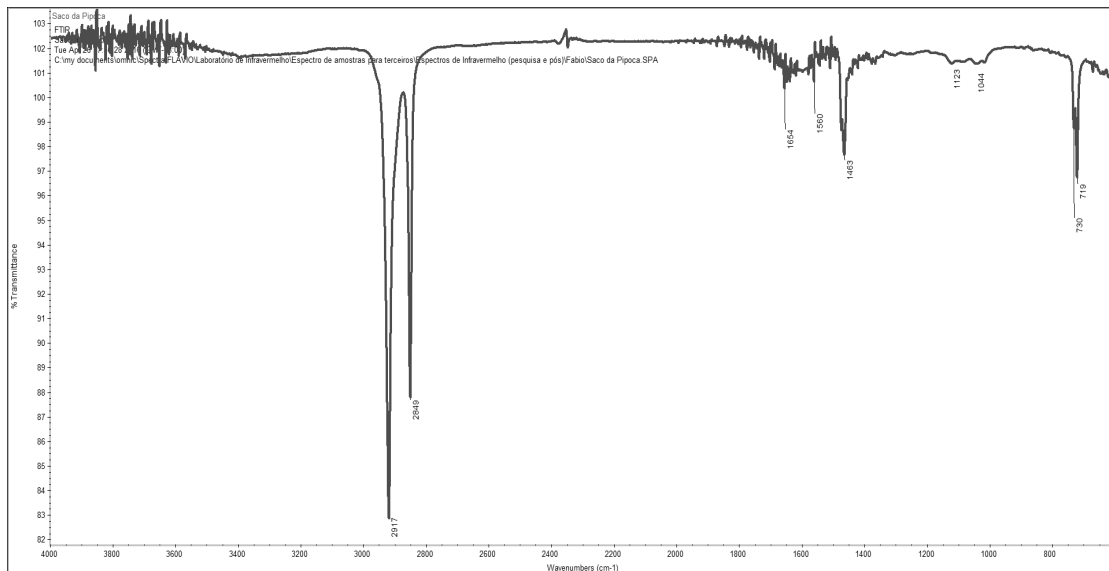


Figura 15. Espectro de IR da amostra 6.

Como não se teve acesso ao padrão de PVC, usou-se um espectro de uma base de dados do *Handbook of Plastics Analysis* (LOBO & BONILLA, 2003), apresentando na Figura 16 o espectro de referência do PVC. As bandas entre  $3000\text{-}2900\text{ cm}^{-1}$  são as bandas correspondentes as ligações  $\text{CH}_2$  existentes no PVC. As bandas entre  $2900\text{-}2800\text{ cm}^{-1}$  são correspondentes ao CH, que é ligado ao  $\text{CH}_2$  e ao Cl, conforme a estrutura do PVC. A caracterização do cloro se dá pela sua ligação com o CH (banda  $1250\text{ cm}^{-1}$ ) e diretamente com o carbono (banda entre  $650\text{-}600\text{ cm}^{-1}$ ) (SILVERSTEIN *et al.*, 2005).

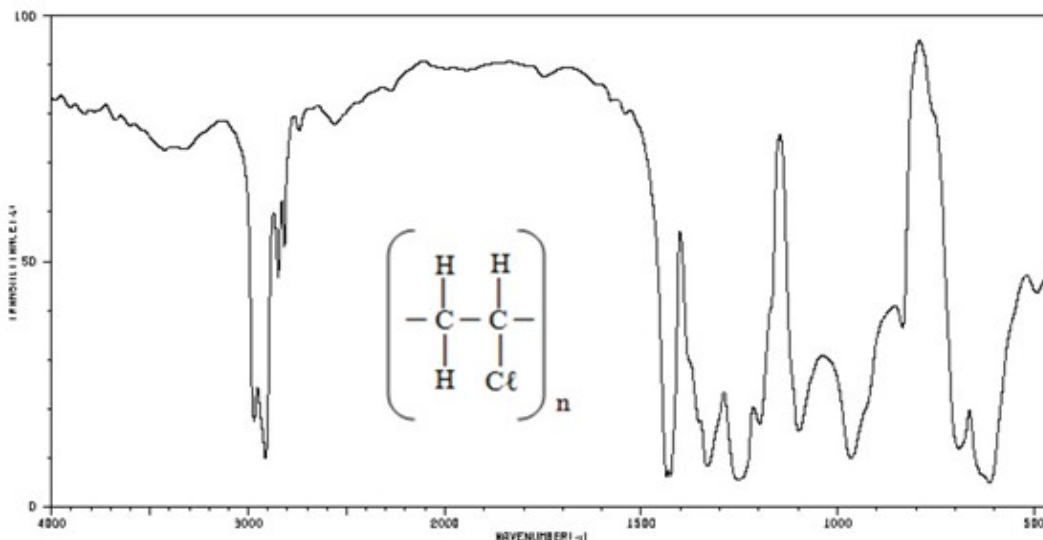


Figura 16. Espectro de IR de referência do PVC (LOBO & BONILLA, 2003).

Com isso, se vê a importância da identificação e apresentação da simbologia correta do material que é produzido, pois com ela não se teria a necessidade de testes para a caracterização do material e o mesmo poderia ir diretamente para as etapas de reciclagem e posterior reutilização; sem a identificação correta, esse material poderia ir para uma cooperativa e ser processado como PVC, não se tendo uma nova peça com as propriedades requeridas (COLTRO & DUARTE, 2013), lembrando que no rótulo da embalagem o fornecedor informou que era constituído de PVC, e não de PEAD/PEBD. Desta forma, foi observado que técnicas simples, como densidade e combustão, servem para auxiliar as cooperativas quanto ao tipo de material das embalagens descartadas, podendo confirmar, caso necessário, a simbologia apresentada no rótulo. Porém, somente um técnica mais avançada permite realmente a identificação do material caso as propriedades em relação as técnicas simples não sejam confirmadas.

## CONCLUSÕES

Pode-se concluir que as metodologias para a caracterização dos polímeros utilizados se mostraram satisfatórias, pois em cada técnica se pôde observar a diferença de propriedades dos materiais poliméricos. A técnica de IR foi a de maior eficiência nessa caracterização, pois através dela outros constituintes das amostras de matriz polimérica, que poderiam afetar as propriedades dos materiais, podem ser observados, complementando as informações das técnicas anteriores.

Observou-se também a importância de se ter uma simbologia correta dos materiais produzidos nas embalagens, pois com ela economiza-se tempo na identificação do material para sua reciclagem, aumentando a produtividade, pois não terá uma etapa extra, que seria a de identificação através desses testes. A identificação incorreta por meio da simbologia poderá levar a uma destinação incorreta, provavelmente gerando peças que não atenderão as expectativas quanto as propriedades requeridas.

As três técnicas utilizadas possibilitaram a confirmação de que o material era realmente o descrito pelo fabricante, com exceção da amostra 6 em que, por espectroscopia no infravermelho, se chegou à conclusão que é um tipo de polietileno.

## AGRADECIMENTOS

A professora Élen Pacheco, do Instituto de Macromoléculas Eloísa Mano (IMA - UFRJ) pela doação dos padrões utilizados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKCELRUD, L. **Fundamentos da Ciência dos Polímeros**. Barueri: Editora Manole, 2007.
- ANTUNES, A.; MERCADO, A. **A aprendizagem tecnológica no Brasil: a experiência da Indústria Química e Petroquímica**. Rio de Janeiro, RJ: E-Papers, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Embalagens e acondicionamento plásticos recicláveis – Identificação e simbologia**. NBR 13.230. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2008
- BRASIL. Reciclagem e aproveitamento. **Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/reciclagem-e-reaproveitamento>. Acesso em 25/04/2016.
- CANEVAROLO JR., S.V. **Ciência dos polímeros: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2ª Ed. São Paulo, SP: Editora Artliber, 2006.
- COLTRO, L; DUARTE, L.C. Reciclagem de Embalagens Plásticas flexíveis: Contribuição da identificação correta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, **23**(1), 128-134, 2013.
- COLTRO, L.; GASPARINO, B.F.; QUEIROZ, G.C. Reciclagem de Materiais Plásticos: A Importância da Identificação Correta. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, **18**(2),119-125, 2008.

- COUTINHO, F.M.B.; OLIVEIRA, C.M.F. **Reações de polimerização em cadeia: Mecanismos e cinética**. 1ª Ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Interciência, 2006.
- FORLIN, F.; FARIA, J.A. Considerações sobre a reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, **12**(1), 1-10, 2002.
- FRANCHETTI, S.M.M.; MARCONATO, J.C. Propriedades físicas dos polímeros na reciclagem. **Química Nova na Escola**, **18**, 42-45, 2003.
- LOBO, H.; BONILLA, J.W. **Handbook of Plastics Analysis**. New York: Marcel Dekker, 2003.
- MAGRINI, A.; MELO, C.K.; CASTOR Jr, C.A. *et al.* **Impactos ambientais causados pelos plásticos: uma discussão abrangente sobre os mitos e os dados científicos**. 1ª ed. Rio de Janeiro, RJ: E-Papers, 2012.
- MANO, E.B. **Polímeros como materiais de engenharia**. São Paulo, SP: Editora Edgard Blücher, 2000.
- MANO, E.B.; MENDES, L.. **Identificação de plásticos, borrachas e fibras**. 1ª Ed. São Paulo, SP: Editora Edgard Blücher, 2000.
- MANO, E.B.; PACHECO, E.B.A.V; BONELLI, C.M.C. **Meio Ambiente, Poluição e Reciclagem**. 1. Ed. Rio de Janeiro, RJ: Edgar Blücher, 2005.
- PEREIRA-NETO, T.J.A Política Nacional de resíduos Sólidos: Os reflexos nas cooperativas de catadores e a logística reversa. **Revista Diálogo**, **18**, 77-96, 2011.
- PIATTI, T.M.; RODRIGUES, R.A.F. **Plásticos: Características, Usos, Produção e Impactos Ambientais**. Série Conversando Sobre Ciências em Alagoas. Maceió, AL: Ufal, 2005. Disponível em: <[http://www.usinaciencia.ufal.br/multimedia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos\\_caracteristicas\\_usos\\_producao\\_e\\_impactos\\_ambientais.pdf](http://www.usinaciencia.ufal.br/multimedia/livros-digitais-cadernos-tematicos/Plasticos_caracteristicas_usos_producao_e_impactos_ambientais.pdf)> Acesso em: 10 de abril de 2016.
- PIVA, A.M.; BAHIANSE-NETO, M.; WIEBECK, H.A Reciclagem de PVC no Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, **9**, 195-200, 1999.
- ROMÃO, W. ; SPINACÉ, M.A.S.; DE 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**, **19**(2), 121-132, 2009.
- SANTOS, L.R.N. **Avaliação da Eficiência da Separação de Plásticos de Resíduos Sólidos Urbanos por Métodos de Dissolução Seletiva**. 150 f. Dissertação (Mestrado em Processamento e Caracterização de Materiais) – Universidade do Minho, Guimarães: Portugal. 2009.
- SILVERSTEIN, R.M.; WEBSTER, F.X.; KIEMLE, D.J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7ª ed. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan. 2005.