



### III-042 – PLÁSTICOS EM ATERROS: DISCUSSÕES SOBRE A RECICLABILIDADE E BIODEGRADABILIDADE

**Sandro D. Mancini<sup>(1)</sup>**

Engenheiro de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. Mestre em Engenharia de Materiais pela UFSCar e Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFSCar. Professor da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP) - Sorocaba.

**Thalita Benetello**

Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

**Luciane Lopes Rodrigues**

Bacharel em Química pela Universidade de São Paulo (IQ/USP). Mestranda em Ciência e Tecnologia dos Materiais na UNESP.

**Juliane Ziviane**

Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

**Natália Nogueira**

Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

**Gabriela Antonioli**

Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

**Vanessa Alves Mantovani**

Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

**Amanda de Alcântara Etruri**

Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

**Anna Carolina Gomes da Silva**

Graduanda de Engenharia Ambiental pela UNESP, campus de Sorocaba.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. 3 de Março, 511 – Alto da Boa Vista - Sorocaba – SP - CEP: 18087-180 - Brasil - Tel: +55 (15) 3238-3409 - Fax: +55 (15) 3228-2842 - e-mail: [mancini@sorocaba.unesp.br](mailto:mancini@sorocaba.unesp.br)

#### RESUMO

O politereftalato de etileno (PET) e o poliestireno (PS) são alguns dos termoplásticos mais descartados e presentes nos resíduos sólidos domésticos, representando um inegável desperdício de materiais e problemas nos lixões e aterros sanitários, como dificuldade de compactação do lixo e a criação de camadas impermeabilizantes que podem diminuir a eficiência do processo de decomposição da matéria orgânica.

Diante deste cenário, o presente trabalho apresenta a comparação entre a viabilidade de reciclagem desses materiais provenientes de aterros sanitários com os de cooperativas de coleta seletiva. Essa viabilidade foi medida a partir da determinação do percentual de impurezas presentes em amostras de PS coletado na forma de copos descartáveis e de PET na forma de garrafas de refrigerantes. Essas impurezas são transferidas para o efluente de lavagem durante a reciclagem e, no caso deste trabalho, os resultados apontam que em média, um sistema de coleta misturada fornece PS com cerca de 10% e PET com 4% de impurezas. No caso de coleta seletiva o teor de impurezas é de, respectivamente, 10% e 0,4%. O fato do PS apresentar teores semelhantes de impureza independentemente do sistema de coleta tem explicação no aparecimento de uma amostragem de coleta seletiva com vários resíduos de cigarro descartados junto com os copos. Em outra amostragem, dessa vez sem esses resíduos, o nível de impurezas para o PS foi de 1%. Esses resíduos foram provavelmente os responsáveis pelo único valor, dentre os obtidos da caracterização de todos os efluentes de lavagem, superior ao permitido para lançamento de efluentes, acima de 1 ml/L.h, o que torna obrigatório tratamento anterior ao despejo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reciclagem, poliestireno, PET, coleta seletiva, coleta misturada.

#### INTRODUÇÃO

O crescimento demográfico, somado ao padrão atual de consumo em excesso da população e o desenvolvimento das indústrias, tem como resultado um aumento na quantidade de resíduos gerados, o que provoca uma maior preocupação com os custos destinados à disposição final desses resíduos em aterros sanitários.



O PET, encontrado em garrafas de água mineral e refrigerantes e o PS, usado em materiais descartáveis, como copos e potes de iogurte, são algumas das resinas termoplásticas mais utilizadas, possuem vida útil muito curta e um grande espaço de tempo até sua decomposição. O consumo aparente de resinas termoplásticas é resultado da soma da produção com as importações, excluindo as exportações; no Brasil esse consumo aumentou em cerca de 70% no ano de 2006 em relação a 1995. Nesse mesmo intervalo, o país se firmou como exportador, e chegou a vender mais de 1,1 milhões de toneladas em 2006, e neste último, o consumo aparente atingiu 4,4 milhões de toneladas, demonstrando que a indústria de termoplásticos brasileira teve como principal atrativo o mercado interno [1-2].

Nos aterros, esses materiais, dificultam a compactação do lixo, pois criam camadas impermeáveis que afetam as trocas de líquidos e gases gerados, diminuindo a eficiência do processo de biodegradação da matéria orgânica. Isto porque a biodegradação dos materiais plásticos é muito lenta ou praticamente inexistente. Por isso, a coleta seletiva deve ser priorizada a fim de promover um aumento da vida útil dos aterros e abrir as portas aos processos de reciclagem.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a presença somente de PS, na forma de copos descartáveis, e de PET, em garrafas de refrigerante, através da lavagem do material provocando exclusão de impurezas internas e externas e caracterizando o efluente gerado em todo esse processo.

O trabalho foi realizado em duas etapas. Na primeira, foram feitas duas coletas dos dois termoplásticos em aterro sanitário, e na segunda, o mesmo número de coletas foi realizado em cooperativa de coleta seletiva. O efluente da lavagem desses resíduos foi submetido, em cada uma das etapas, a testes de sólidos totais, dissolvidos, suspensos e sedimentáveis, além da determinação da turbidez e pH.

Pelos resultados encontrados verifica-se a necessidade de melhorias durante a separação, armazenamento, manuseio dos materiais destinados à reciclagem, pois mesmo os efluentes de lavagem das amostras de sistema de coleta seletiva apresentaram valores de sólidos e de turbidez que podem provocar um impacto significativo ao meio ambiente, ou seja, ainda são necessários esforços para que a reciclagem seja efetivamente um meio adequado para minimizar o impacto ao meio ambiente do grande uso destes materiais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado com materiais obtidos no Aterro Sanitário de Sorocaba-SP e na Cooperativa Reviver, localizada também no município de Sorocaba. Foram separados aproximadamente 150 g de cada material, sendo eles copos plásticos e garrafas de PET, a partir de uma carga de resíduos sólidos domésticos. Duas amostragens foram feitas, em dias distintos, em aterro, assim como duas amostragens semelhantes em sistema de coleta seletiva.

O material foi trazido à universidade para pesagem inicial. Para os copos plásticos do aterro, a separação de PS e polipropileno (PP) seguiu a identificação de símbolos. Na cooperativa somente foram encontrados copos de PS. Em seguida, os mesmos foram cortados manualmente com tesoura.

Para cada uma das oito amostras, foi utilizada a relação de 100 g de amostra para 10 L de água, sendo que o sistema foi mantido à temperatura ambiente e sob agitação [3]. Após 3 minutos de ciclo de lavagem, o material foi recolhido e cada fragmento do mesmo foi submetido a enxágüe manual. Posteriormente, foi seco por aproximadamente 48 horas à temperatura ambiente e por mais 24 horas em estufa a 45-50 °C. Ao final desta etapa, foi novamente pesado e sua massa comparada à massa inicial para determinação do real teor de resíduo no polímero.

O efluente de lavagem foi caracterizado através da determinação do seu teor de sólidos totais, suspensos, dissolvidos e sedimentáveis. O impacto poluidor da lavagem de cada material foi avaliado também pela medida de pH e turbidez. A título de comparação, a água de abastecimento público utilizada para a lavagem foi considerada o “branco”, ou seja, também foi submetida aos mesmos ensaios de caracterização e teve seus resultados descontados do efluente de lavagem.

Para a quantificação do teor de sólidos totais foi utilizada alíquota de 5 mL da água de lavagem, a qual foi levada para secagem em estufa a 120 °C até peso constante. Para a determinação do teor de sólidos totais



fixos, a mesma amostra foi levada para incineração em mufla a 550 °C por 1 hora. O teor de sólidos totais voláteis foi determinado a partir da diferença entre os sólidos totais e os sólidos totais fixos [4]

O teor de sólidos suspensos e dissolvidos foi determinado a partir da filtração a vácuo de 5 mL da amostra, onde o sólido retido no filtro foi levado à estufa por uma hora a 100°C e a porção filtrada foi levada para secagem em estufa a 120 °C até peso constante. Para a determinação do teor de sólidos dissolvidos fixos, a mesma amostra foi levada para incineração em mufla a 550 °C por 1 hora. O teor de sólidos dissolvidos voláteis foi determinado a partir da diferença entre os sólidos dissolvidos totais e os sólidos dissolvidos fixos [4].

Para o teor de sólidos sedimentáveis, foi transferido 1 L de amostra para o cone de Imhoff. A amostra foi mantida no cone por 45 minutos e sofreu agitação suave. Após mais 15 minutos, totalizando uma hora, a quantidade de sólidos que sedimentou foi medida. O teor de sólidos sedimentáveis é um importante parâmetro de qualidade do efluente, uma vez que uma das formas mais utilizadas e baratas para o tratamento de efluentes é o processo de decantação [4].

Na determinação do pH foi feita a leitura da amostra em pHmetro calibrado. Para a leitura da turbidez foi realizada leitura da amostra à temperatura ambiente em turbidímetro também previamente calibrado.

Todos esses ensaios foram realizados em triplicata para garantir maior confiabilidade dos dados e seguiram normalizações específicas preconizadas pela Associação Americana de Saúde Pública (APHA) [4]. Para tanto, foram utilizados os seguintes equipamentos e instrumentos: cone de Imhoff, bomba de vácuo, balança analítica, dessecador, forno-mufla marca Quimis modelo Q-318M24, Turbidímetro marca Policontrol modelo AP 2000iR, estufa marca Fanem modelo 320-SE e pHmetro marca Hanna Instruments modelo HI 98107.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados do percentual real de PS e PET, após a retirada de impurezas por meio de lavagem, enxágüe e secagem, em amostras de coleta misturada (aterro) e de coleta seletiva (cooperatoa), respectivamente. A diferença entre a massa inicial, antes da lavagem, e a massa final, após lavagem e secagem, é a massa de impurezas agregada ao material que foi transferida para o efluente de lavagem.

**Tabela 1: Teor de PS e PET nas amostras de coleta misturada, após lavagem, enxágüe e secagem**

Plásticos %				
Material	Amostragem 1	Amostragem 2	Média %	Desvio Padrão %
Copos PS	<b>94,6</b>	<b>85,2</b>	<b>89,9</b>	<b>6,6</b>
Garrafas de PET	<b>96,8</b>	<b>95,7</b>	<b>96,3</b>	<b>0,8</b>

**Tabela 2: Teor de PS e PET nas amostras de coleta seletiva, após lavagem, enxágüe e secagem**

Plásticos %				
Material	Amostragem 1	Amostragem 2	Média %	Desvio Padrão %
Copos PS	<b>80,7</b>	<b>99,0</b>	<b>89,9</b>	<b>12,9</b>
Garrafas de PET	<b>99,5</b>	<b>99,7</b>	<b>99,6</b>	<b>0,1</b>

De acordo com a Tabela 1, numa eventual reciclagem destes materiais obtidos em sistema de coleta misturada, será necessária a retirada de cerca de 10% de impurezas para o PS e cerca de 4% para o PET. Ou seja, para cada 1000 kg de PET proveniente de aterro sanitário, por exemplo, cerca de 38 kg de impurezas serão transferidas à água de lavagem. Para o PS, este valor é maior, cerca de 10% de impurezas (100 kg por tonelada).

Por sua vez, através da análise da Tabela 2, verifica-se que a coleta seletiva minimiza a quantidade de impurezas, exceto para a primeira amostragem dos copos. O valor maior de resíduos obtido neste dia foi

explicado pela presença visual de grande quantidade de “bitucas” de cigarro, demonstrando que mesmo na coleta seletiva podem ocorrer eventos que prejudicam a qualidade do efluente de lavagem. A quantidade de resíduos que precisa ser retirada para o PS é também de 10%, em média, similar às amostras do aterro. Apesar de apresentar apenas 1,0% de impurezas na segunda amostragem, a média obtida foi alta devido ao valor alto de resíduos obtido na primeira amostragem, conforme foi explicado. Para o PET, obteve-se índice de apenas 0,4% de impurezas, indicando que a obtenção de matéria prima em sistema de coleta seletiva é uma opção melhor que materiais obtidos de aterro. Observando os valores de desvio padrão, verifica-se que para as garrafas de PET não tivemos grandes diferenças em termos de quantidade de impurezas, principalmente para as amostras de coleta seletiva – o desvio padrão foi de 0,8% para o aterro e 0,1% para a coleta seletiva. Esta baixa variação é explicada devido ao formato característico da garrafa, que possui gargalo estreito, dificultando a entrada de impurezas e até mesmo, durante o seu uso, a mesma não é reconhecida como um bom recipiente de descarte, como acontece com os copos.

Comparativamente, temos que a amostragem de garrafa de PET proveniente de aterro continha cerca de 10 vezes em média mais resíduo que amostra equivalente da cooperativa. Não foi observado o mesmo para os copos PS devido ao problema dos cigarros descrito acima, porém, na segunda coleta, observou-se uma diferença de quase 15 vezes no teor de resíduos encontrado no mesmo. Ou seja, a amostragem de copos do aterro estava cerca de 15 vezes mais impregnada de impurezas que a amostragem equivalente realizada na cooperativa.

A figura 1 apresenta o resultado de percentual de resíduos e / ou impurezas encontrado nas amostras de PS e PET, pela diferença entre a massa inicial, antes da lavagem, e a massa final, após lavagem e secagem.

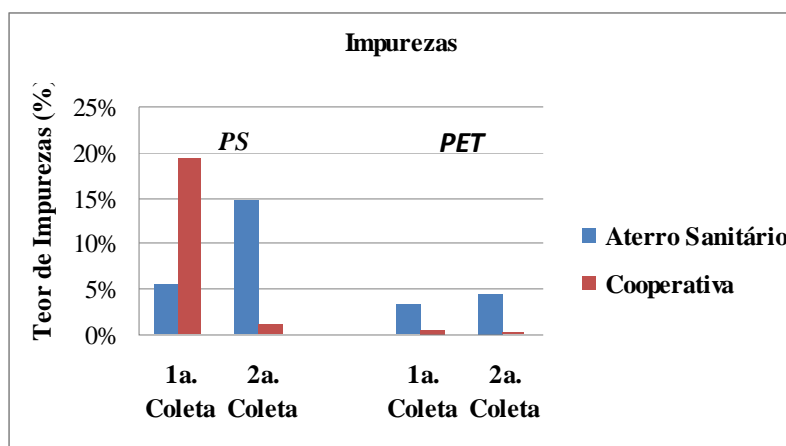


Figura 1: Percentual de resíduos transferido para o efluente de lavagem.

As figuras 2, 3 e 4 apresentam os resultados de sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis, respectivamente. O valor de sólidos totais é obtido a partir do resíduo que fica no cadinho após evaporação e secagem a 120 °C. A partir do resíduo obtido após incineração a 550 °C obtém-se o valor de sólidos totais fixos e por sua vez, a perda de massa por incineração fornece o valor de sólidos totais voláteis.

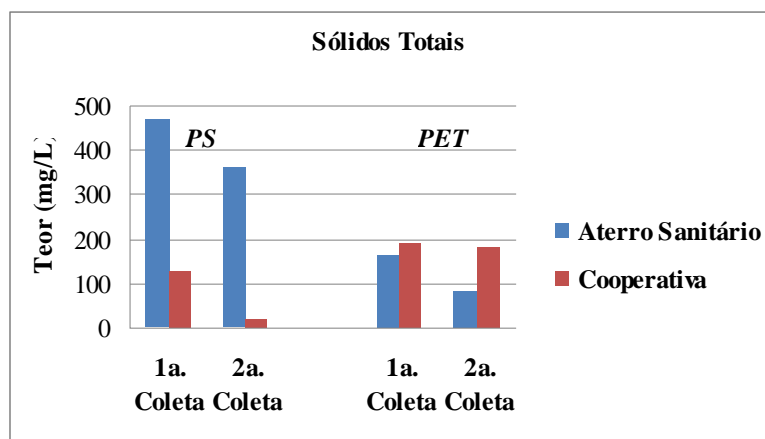


Figura 2: Teor de sólidos totais após secagem a 120 °C.

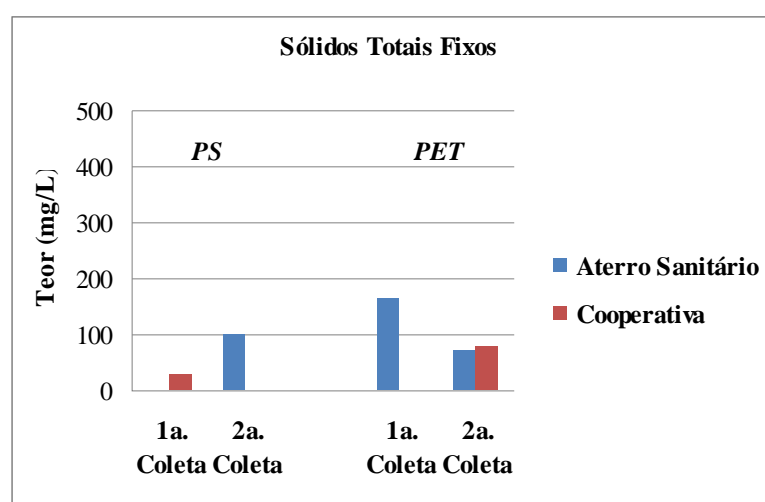


Figura 3: Teor de sólidos totais fixos após incineração a 550 °C.

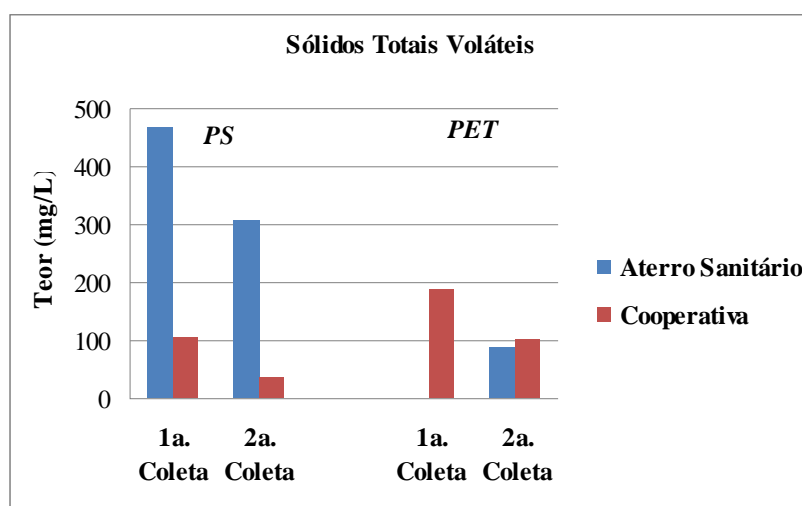


Figura 4: Teor de sólidos totais voláteis após incineração a 550 °C.

As figuras 5, 6 e 7, apresentam os resultados de sólidos dissolvidos totais, sólidos dissolvidos fixos e sólidos dissolvidos voláteis, respectivamente. O valor de sólidos dissolvidos totais se refere à porção que passa pelo filtro e como na determinação de sólidos totais é obtido a partir do resíduo que fica no cadinho após evaporação e secagem a 120 °C. A partir do resíduo obtido após incineração a 550 °C obtém-se o valor de



sólidos dissolvidos fixos e por sua vez, a perda de massa por incineração fornece o valor de sólidos dissolvidos voláteis.

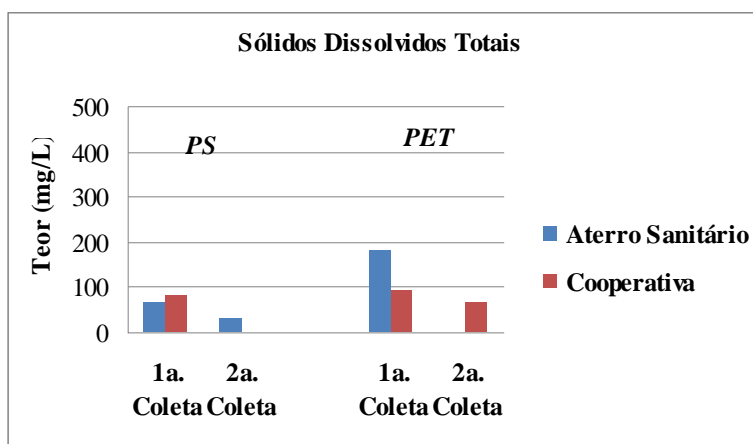


Figura 5: Teor de sólidos dissolvidos totais após filtração e secagem a 120 °C.

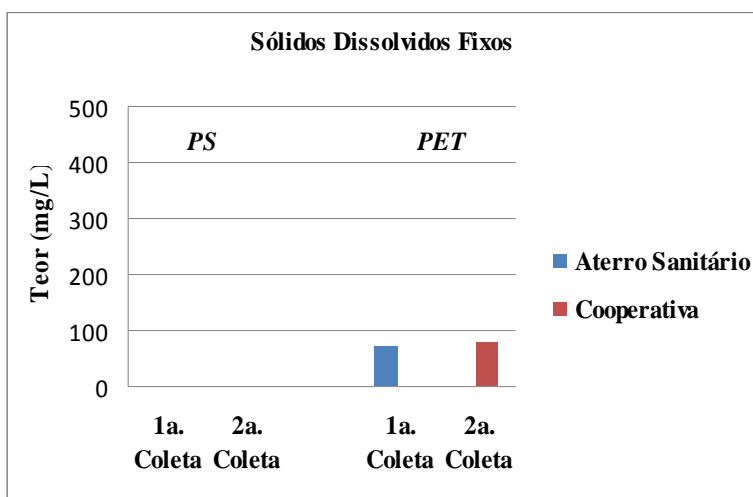


Figura 6: Teor de sólidos dissolvidos fixos após filtração e incineração a 550 °C.

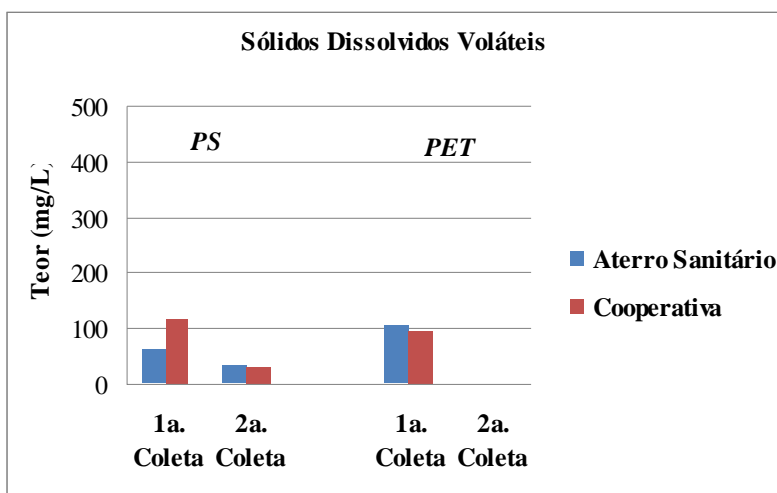


Figura 7: Teor de sólidos dissolvidos voláteis após filtração e incineração a 550 °C.



A figura 8 apresenta o resultado de sólidos suspensos, que é a porção dos sólidos que fica retida no filtro e é obtido a partir do resíduo que fica no mesmo após evaporação e secagem a 120 °C.

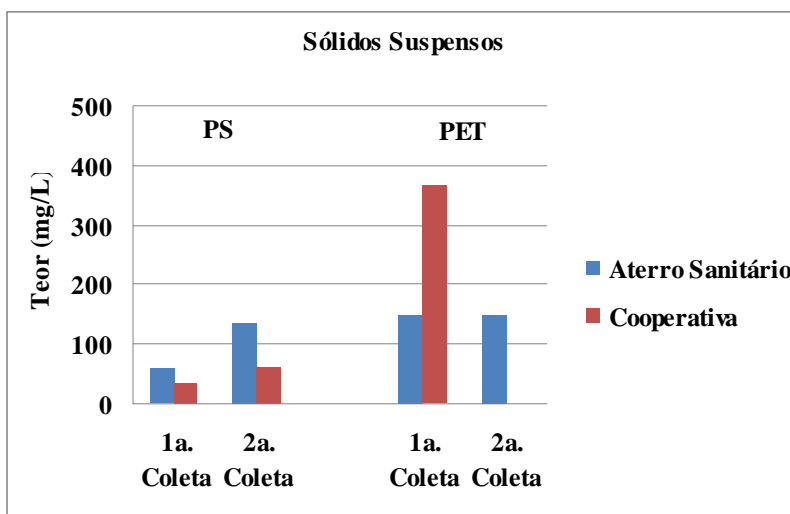


Figura 8: Teor de sólidos suspensos após filtração e secagem a 120 °C.

A figura 9 apresenta o resultado de sólidos sedimentáveis, que se refere ao material suspenso na amostra e que sedimenta dentro de 1 hora.

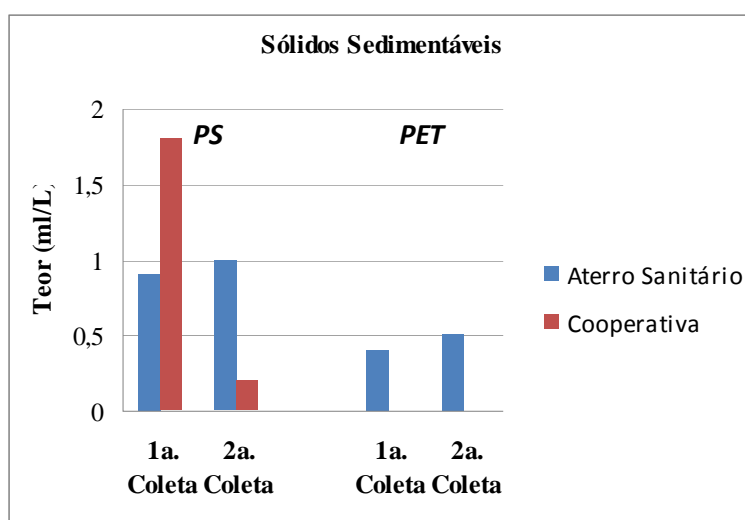


Figura 9: Teor de sólidos sedimentáveis após 1 h de sedimentação.

As figuras 10 e 11 apresentam os resultados de turbidez e pH, respectivamente. A turbidez indica a quantidade de impurezas presentes na amostra e que são capazes de absorver e/ou desviar a trajetória inicial da luz.

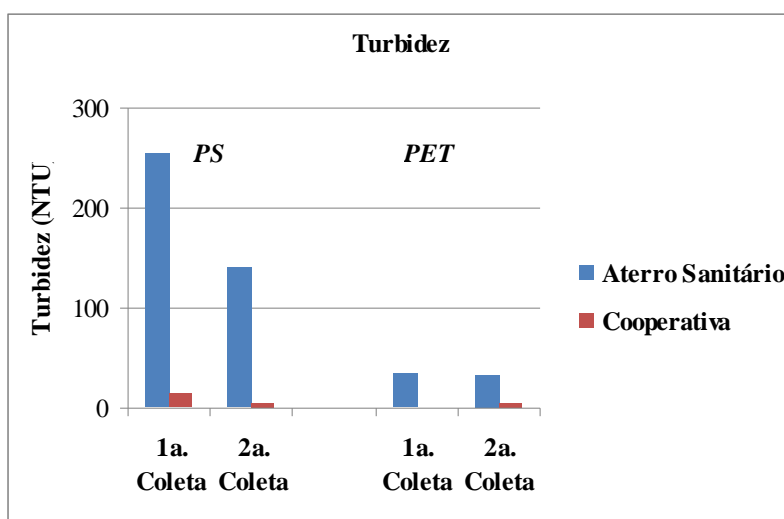


Figura 10: Turbidez.

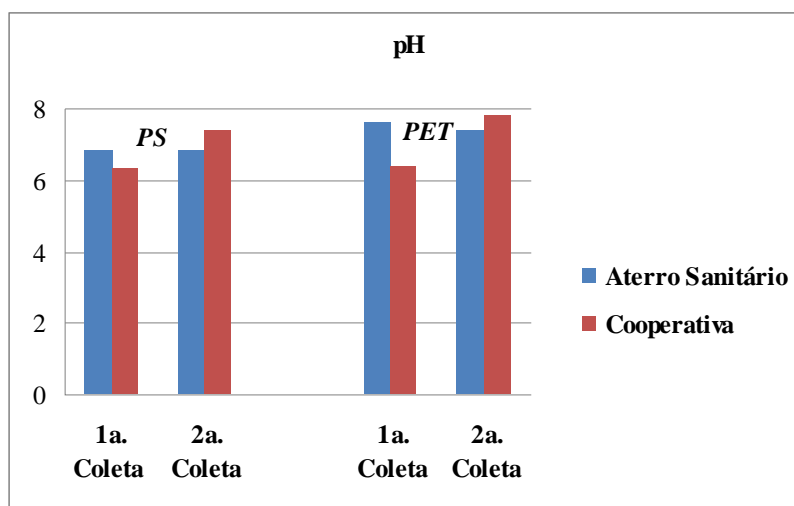


Figura 11: pH.

Observa-se pelos gráficos apresentados, que no geral os resultados obtidos para as amostras coletadas no aterro sanitário foram superiores em termos de resíduos e sólidos, exceto para a primeira amostragem de copos realizada na cooperativa, por conta dos cigarros deixados, que elevou ou certamente colaborou com o aumento do teor de resíduos, de sólidos totais fixos, de sólidos dissolvidos totais, de sólidos dissolvidos voláteis e sólidos sedimentáveis.

Os resultados de turbidez confirmaram os resultados encontrados para os teores de impurezas e sólidos, ou seja, apresentaram valores bem maiores para o efluente obtido de material do aterro.

Para o pH não houve variações significativas entre os resultados de aterro e da cooperativa, ora apresentando acidez maior no aterro e ora apresentando acidez maior na cooperativa, sempre oscilando ao redor de pH 7.

De acordo com a resolução do CONAMA no. 357/2005, que estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, se for considerado que o corpo receptor do efluente de lavagem fosse um rio classe 3, apenas o efluente obtido da primeira amostragem de PS na cooperativa não poderia ser lançado sem tratamento no mesmo. Este caso foi o único que atingiu teor de sedimentáveis acima de 1 mL/L, o máximo permitido para o despejo de efluentes [5]. Porém, há de ser ressaltado que a resolução trata de uma série de parâmetros para a classificação de um corpo d'água e que o lançamento de efluentes, mesmo que eventualmente dentro dos padrões aceitos, não pode mudar a classificação de um corpo d'água. A legislação permite ainda que o órgão ambiental fiscalizador possa adotar parâmetros mais restritivos se considerar conveniente.





Para os materiais estudados, verifica-se que os efluentes atendem as condições estabelecidas pela resolução do CONAMA, exceto para o evento explicado anteriormente. Como os resultados de sólidos sedimentáveis e de turbidez para os copos de PS coletados em sistema de coleta misturada apresentaram valores próximos ao máximo para lançamento e superiores ao limite estabelecido para corpos receptores de classe 3 (100 NTU), respectivamente, sugere-se uma etapa de decantação como tratamento do efluente de lavagem.

Isso se faz necessário para garantir que o seu despejo não piore as condições encontradas no corpo receptor, pois uma das condições exigidas pela resolução é a garantia que o lançamento do efluente não mude a classe do corpo receptor, o que pode acontecer dependendo da vazão do efluente e do corpo d'água. Dessa forma, outros estudos devem ser realizados dependendo da classe do corpo receptor e da vazão do mesmo para que o despejo do efluente não mude a classe do receptor em relação a todos os parâmetros exigidos pelo CONAMA. Por exemplo, para rios classe 3, deve ser obedecido: a não verificação de efeito tóxico agudo a organismos, ausência de materiais flutuantes, ausência de óleos e graxas, ausência de substâncias que comuniquem gosto ou odor, ausência de corantes provenientes de fontes antrópicas que não sejam removíveis por tratamentos convencionais, ausência de resíduos sólidos objetáveis, máximo de 4000 coliformes termotolerantes/ 100 mL em 80% da amostragem, máximo de 50000 células de cianobactérias/mL, DBO máximo de 10 mg O<sub>2</sub>/ L, OD mínimo de 4 mg O<sub>2</sub>/L, turbidez máxima de 100 NTU, cor verdadeira de até 75 mg PT/L, pH entre 6 e 9; e deve seguir também os padrões de qualidade da água (clorofila máximo de 60 µg/L, sólidos dissolvidos totais de até 500 mg/L e vários parâmetros inorgânicos e orgânicos) [5].

## CONCLUSÕES

As diferenças encontradas entre as coletas realizadas em sistema de coleta seletiva e em sistema de coleta misturada indicam uma qualidade superior do efluente obtido da lavagem de material oriundo de coleta seletiva. É necessário porém destacar a importância da conscientização e de treinamento das pessoas envolvidas na separação, armazenamento e manuseio dos materiais destinados à coleta seletiva e futura reciclagem, pois foi verificado um evento, que aparentemente poderia ser pensado como não impactante, a presença de “bitucas” de cigarro. Estes resíduos impactaram substancialmente o efluente, sendo necessário nesse caso, um tratamento do efluente antes do lançamento em corpos d'água, mesmo que seja apenas um tratamento convencional, como uma decantação.

Em média, um sistema de coleta misturada fornece PS com cerca de 10% e PET com 4% de impurezas. No caso de coleta seletiva o teor de impurezas é de, respectivamente, 10% e 0,4%. O fato do PS apresentar teores semelhantes de impureza independentemente do sistema de coleta tem explicação novamente no evento dos resíduos de cigarro descartados junto com os copos. Na outra amostragem de coleta seletiva, quando não foram observados, ao menos visualmente, esses resíduos, o nível de impurezas para o PS foi de 1%. Isso indica, que mesmo um sistema de descarte seletivo deve ser refinado para se buscar materiais mais valorizados para o processo de reciclagem.

No geral os resultados obtidos para as amostras coletadas no aterro sanitário foram superiores em termos de resíduos e sólidos, exceto para a primeira amostragem de copos realizada na cooperativa, por conta dos cigarros deixados. Para o pH não houve variações significativas entre os resultados de aterro e da cooperativa, ora apresentando acidez maior no aterro e ora apresentando acidez maior na cooperativa, sempre oscilando ao redor de pH 7. O efluente da lavagem de PS coletado na primeira amostragem da cooperativa foi o único caso em que ultrapassou o teor de sedimentáveis de 1 mL/L, o máximo permitido por lei para o despejo de efluentes. Outros valores, e de outras propriedades, ficaram porém bastante próximos aos limites estabelecidos, por exemplo, para um corpo d'água classe 3. Ou seja, no caso de lançamento num corpo d'água desse tipo, há que se verificar as vazões do efluente e do corpo d'água para evitar uma nova classificação para um nível pior, o que também é proibido.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Prefeitura Municipal de Sorocaba (proprietária do aterro) e a Cooperativa Reviver, por disponibilizar os locais onde ocorreram as coletas de amostras. Agradecem ainda à Camila Silva Franco, Bruna Hinojosa de Sousa, Marina Schiave Rodrigues, Thaís Máscia Cecchi, Paula Maria Biral e Leonardo Machado Pitombo pelo auxílio nas medidas.



## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. Anuário Brasileiro da Indústria Química 1998. Abiquim, São Paulo, Brasil, 1999.
2. ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. Anuário Brasileiro da Indústria Química 2005. Abiquim, São Paulo, Brasil, 2006.
3. MANCINI, S.D., NOGUEIRA, A.R., KAGOHARA, D.A., SCHWARTZMAN, J.A.S., MATTOS, T., ROSA, A.H. Influência do tipo de coleta (comum ou seletiva) na reciclagem de filmes de poliolefinas pós-consumo. Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia, v.XVIII, n.4, p. 289-296, out/dez. 2008.
4. APHA – American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20ª Ed. United Book Press, Baltimore, EUA, 1998.
5. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução 357/2005. CONAMA, Brasília, Brasil, 2005.