

# Remoção da fração oleosa de embalagens de lubrificantes automotivos pós-consumo por drenagem gravitacional

*Residual oil removal from used automotive lubricant packages by gravitational drainage*

**Harley Moraes Martins<sup>1</sup>, Juacyara Carbonelli Campos<sup>2</sup>,  
Maria José de Oliveira Cavalcanti Guimaraes<sup>3</sup>, Gabriel Bassani<sup>4</sup>**

## RESUMO

Este trabalho aborda a questão do gerenciamento de embalagens pós-consumo de lubrificantes automotivos, considerando as dificuldades inerentes à implementação do sistema de logística reversa – prática compulsória por força de lei (Brasil, Lei 12.305/2010) – e a ineficácia dos atuais métodos utilizados para remoção da fração oleosa residual, necessária ao reprocessamento do material plástico por reciclagem mecânica direta. Para determinar metodologia apropriada para limpeza dos frascos de lubrificantes foram conduzidos experimentos para avaliar a influência do aquecimento e da posição das embalagens durante o processo de drenagem gravitacional. O procedimento analítico realizado proporcionou a escolha de uma combinação de variáveis capaz de assegurar remoção de elevado teor do resíduo oleoso com menor gasto energético. A otimização foi feita utilizando um planejamento experimental do tipo composto central com triplicata no ponto central. Os dados obtidos nos ensaios foram analisados com recursos estatísticos e demonstraram que ambos os parâmetros avaliados interferem, de forma significativa, no processo em estudo. Os resultados apontaram aumento da eficácia do processo quando a drenagem é realizada em temperaturas superiores a 35°C e com a embalagem inclinada em ângulos próximos a 70° em relação à horizontal. Nessas condições, percentuais de remoção de óleo residual superaram 95% após 35 minutos de drenagem.

**Palavras-chave:** embalagens de lubrificantes; logística reversa; reciclagem, embalagens usadas de PEAD, Lei 12.305/10.

## ABSTRACT

This work addresses the management of automotive lubricants packages after lubricant use, considering the difficulties of implementing reverse logistics system – compulsory practice by virtue of Law (Brazil, Law 12,305/2010) – and the poor effectiveness of the current methods for removing residual oil from packages, which is required before reprocessing plastic material in direct mechanical recycling. Experiments were conducted in order to determine the appropriate methodology for cleaning the lubricant bottles, evaluating the influence of temperature and package position in the gravitational drainage. This analytical procedure elicited a combination of variables and conditions capable of improving the removal of oily residue with less energy. The experimental optimization was performed using a central composite model with triplicate center point. The test results were statistically analyzed and showed that both parameters have significant influence on the separation process. The data indicated that the process is more effective when the drainage is performed above 35°C and the packaging inclined at angles close to 70° relative to horizontal. Under these conditions, the oil removal is greater than 95% after 35 minutes of drainage.

**Keywords:** motor oil container; reverse logistics, recycling; used HDPE containers; Law 12.305/10.

<sup>1</sup>Doutor em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor EBTT D-402 do Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ) - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

<sup>2</sup>Doutor em Engenharia Química pela UFRJ. Professor Associado II da Escola de Química da UFRJ - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

<sup>3</sup>Doutor em Ciência e Tecnologia de Polímeros, Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano da UFRJ. Professor Associado III da Escola de Química da UFRJ - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

<sup>4</sup>Graduado em Engenharia Química pela Escola de Química da UFRJ. Pesquisador na Respsol Sinopec - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

**Endereço para correspondência:** Harley Moraes Martins - Rua Senador Furtado, 121 - Maracanã - 20270-021 - Rio de Janeiro (RJ), Brasil - E-mail: harley.martins@ifrj.edu.br

**Recebido:** 13/12/13 - **Aceito:** 26/01/16 - **Reg. ABES:** 128063

## INTRODUÇÃO

A destinação final das embalagens plásticas após consumo do produto acondicionado representa um significativo desafio para a gestão ambiental. Os materiais plásticos têm, geralmente, ciclos de vida curtos (PANDA; SINGH; MISHRA, 2010) e, quando rejeitados, se degradam muito lentamente, acumulando-se no meio ambiente, contribuindo com o agravamento de vários problemas como impermeabilização dos solos, aumento do volume de lixões com proliferação de doenças, assoreamento dos rios e lagos, dentre outros (BRAGA, 2005; TENÓRIO & ESPINOSA, 2004).

No caso dos frascos de óleos lubrificantes automotivos, há um fator crítico adicional associado à permanência de fração oleosa residual no pós-abastecimento: Lei e Wu (2009) informam que, em média, 20 g de óleo permanecem nas embalagens de 1 L.

Segundo Xavier *et al.* (2006), a presença de óleo lubrificante remanescente impõe periculosidade ainda maior ao resíduo em questão, quando considerado o potencial de contaminação do meio ambiente por hidrocarbonetos e seus aditivos, absorvidos pelo solo, meio aquoso e atmosférico, se consideradas emissões gasosas provenientes de sua queima. A formulação dos lubrificantes contém óleos básicos e aditivos, que podem incluir sulfonatos, fenóxidos, na forma de cálcio, magnésio e bário; dialquil ditiofosfato de zinco; polímeros à base de metacrilato, entre diversos outros (GUIMARÃES, 2006; THALHEIMER, 2008). Essas substâncias têm enorme poder de contaminação (KIM *et al.*, 2001). De acordo com a classificação proposta pela norma NBR 10.004/04 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), os frascos de óleo lubrificante pós-consumo contendo óleo remanescente do abastecimento são enquadrados na classe I – Perigosos.

Nesse contexto, os processos de reciclagem se inserem como alternativa ambientalmente adequada para reaproveitamento do resíduo plástico.

Dentre os diversos trabalhos sobre o tema, Siddique, Khatib e Kaur (2008) apresentaram extensa revisão sobre reciclagem química e energética, que pode ser aplicável às embalagens de polietileno de alta densidade (PEAD) e sugerem, sem detalhar, a potencial inserção do plástico reciclado e outros tipos de resíduos na produção de concreto. Achilias *et al.* (2007) estudaram processos de reciclagem química de polietilenos e polipropilenos utilizando diversos solventes, através do método de dissolução/reprecipitação, em diferentes condições de temperatura, assim como a técnica de pirólise. Na mesma linha, Siddiqui (2009) publicou estudo que visa determinar condições ótimas de pressão, temperatura e quantidade de iniciador para a pirólise de termoplásticos. Kumar, Panda e Singh (2011) realizaram análise crítica sobre a reciclagem química de PEAD e trazem à discussão diversos fatores que afetam a degradação, a cinética e os mecanismos de reação. Diversas plantas estão em operação, processando vários tipos de resíduos plásticos por reciclagem química na Alemanha, Japão, Estados Unidos, Índia, entre outros, mas são necessárias pesquisas complementares de modo a assegurar a geração

de produtos de significativo valor agregado, com baixo investimento e sem afetar o meio ambiente (PANDA; SINGH; MISHRA, 2010).

No Brasil, onde o tipo de reciclagem de plásticos efetivamente instalada é a mecânica (D'ALMEIDA & VILHENA, 2010), as empresas utilizam como matéria-prima o material plástico contaminado e, por conseguinte, incluem em seus processos etapas de lavagem e secagem, com consumo de grandes quantidades de água e energia, além do aumento significativo do volume de efluentes a ser tratado.

Além disso, segundo o que foi comprovado por Martins (2014), a inexistência de um processo eficaz para descontaminação das embalagens de lubrificantes tem tornado inviável processos convencionais de reciclagem. De forma global, conforme Lei e Wu (2011), plásticos contaminados com resíduo oleoso apresentam grande dificuldade para reciclagem, em especial por necessidade de etapas de descontaminação.

Smith *et al.* (1998) discutiram problemas de lavagens que utilizam solventes combustíveis, inflamáveis e halogenados e reforçaram o inconveniente da geração de efluentes e da necessidade de tratamento dos mesmos. Nesse trabalho, esses pesquisadores propuseram um método para a solubilização e a remoção do óleo residual com dióxido de carbono pressurizado em estado líquido ou supercrítico. Kim *et al.* (2001) depositaram patente nos Estados Unidos estabelecendo método para lavagem com solvente e secagem com nitrogênio, associado à fragmentação do frasco. Zapp (2011) apresentou um complexo sistema de limpeza com soluções aquosas de ácido sulfônico e/ou detergentes dos frascos de lubrificantes pós-consumo, com turbulência e ausência de ar, associado à drenagem térmica e retirada mecânica dos rótulos. Nesse processo, a alta rotação e impactos de cavitação, gerados pela rápida evaporação/condensação, fornecem energia suficiente para liberar moléculas de óleo fortemente ligadas (ZAPP, 2011). Outros autores, como é o caso de Musha, Yamamoto e Takeda (2003), depositaram patentes relacionadas com a limpeza de embalagens em geral e indicam utilização de solventes, sem mencionar métodos de eliminação ou reciclo.

Diversas técnicas foram estudadas, incluindo solventes aquosos e não aquosos, fluidos em estado supercrítico etc. Entretanto, todas essas técnicas são consideradas por Lei e Wu (2011) caras e geradoras de resíduos adicionais como subprodutos.

Kudrjawzew (2009) e Lei e Wu (2011) informaram que metodologias foram desenvolvidas para reciclagem direta das embalagens de lubrificantes (com resíduo oleoso), inclusive a partir de blendas e compósitos com fibras. Entretanto, essas metodologias se restringem aos processos de extrusão e injeção e, em todos os casos, o material reciclado é destinado a fins muito específicos e pouco nobres (baixo valor agregado).

Segundo Martins (2014), no Brasil, a efetiva implantação do sistema de logística reversa de embalagens de lubrificantes pós-consumidas, preconizada pela Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010), depende das operações de reciclagem mecânica direta (sem lavagem) desse tipo de resíduo. Para que essa técnica de reaproveitamento seja viável técnica e economicamente, é

preciso tornar eficaz a metodologia para remoção gravitacional da fração oleosa residual, de modo que o resíduo do abastecimento não retirado não altere de forma significativa as propriedades do PEAD e, por conseguinte, não comprometa os processos de reprocessamento.

Estudos anteriores (Martins, 2005; 2014) demonstraram a ineficácia das sistemáticas vigentes de separação dos resíduos de abastecimento das embalagens plásticas. Pesquisa de campo realizada em diversos pontos de venda no estado do Rio de Janeiro indicou que em 96,4% dos casos o procedimento de separação ocorre sem qualquer padronização (posicionamento, tempo de remoção etc.) e que, nessas condições, o grau de remoção do óleo residual é praticamente nulo (MARTINS *et al.*, 2013), mantendo-se o teor de óleo na embalagem entre 2 e 3% do volume envasado, compatível com o valor teórico pós-abastecimento informado por Xavier, Cardoso e Figueiredo (2005) e Lei e Wu (2009).

Diante disso, o presente trabalho busca avaliar a interferência das variáveis temperatura e posicionamento do frasco durante o escoamento gravitacional de lubrificantes automotivos, com vistas à identificação de condição que proporcione remoção mínima de 95%, no menor tempo, associada à relação custo-benefício com efetiva aplicação prática.

## METODOLOGIA

O estudo da influência da temperatura e do posicionamento da embalagem durante escoamento gravitacional foi realizado no laboratório do Departamento de Processos Orgânicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Os parâmetros foram analisados, de forma concomitante, tendo sido consideradas temperaturas na faixa entre 30 e 60°C e o posicionamento do frasco com inclinação — em relação à horizontal — entre 45 e 90°. A temperatura mínima do intervalo foi estabelecida de forma a possibilitar estabilização por aquecimento (considerando temperatura ambiente local). O limite superior de temperatura teve como base informação de Petrobras Distribuidora (2011a), que afirmou que se forem usadas fontes de calor acima de 60°C, podem se formar vapores tóxicos e mal cheirosos por decomposição do produto.

O planejamento dos ensaios de drenagem com aquecimento foi desenvolvido por planejamento experimental estatístico, utilizando o *software* STATISTICA, versão 8.0. O planejamento experimental estatístico é uma ferramenta cada vez mais utilizada para se realizar a otimização de processos de maneira geral (CARVALHO, 2014). A vantagem do planejamento experimental estatístico é permitir a avaliação simultânea das variáveis críticas do processo chegando a condições ótimas dentro dos intervalos estudados de cada variável (ARAUJO & BRERETON, 1996).

O método utilizado foi o planejamento por composto central. Esse método de planejamento de experimentos de segunda ordem é composto de um ponto central, que é executado com réplicas e fornece uma estimativa interna do erro puro e de pontos axiais, que irão determinar os termos quadráticos (PORTAL ACTION, 2014).

A matriz do planejamento experimental utilizada no trabalho é mostrada na Tabela 1.

Os trabalhos de Lei e Wu (2009), Xavier, Cardoso e Figueiredo (2005) e Pires (2015) estimaram a quantidade de resíduo de abastecimento nas embalagens de lubrificantes de 1 L. Os valores informados estão compreendidos no intervalo entre 17 e 26 g. Esses valores foram considerados para definição da quantidade de óleo ensaiada no presente trabalho, sendo a massa de amostra então fixada em 20 g.

O lubrificante automotivo utilizado como amostra nesse estágio do trabalho foi o óleo semissintético multiviscoso BR LUBRAX TECNO SN 15W-40, cujas especificações são apresentadas na Tabela 2.

Em cada um dos ensaios planejados foram adicionados 20 g de óleo em frasco virgem de lubrificante automotivo (com capacidade de 1 L), previamente pesado. Foram utilizados frascos virgens para assegurar a inexistência de óleo remanescente, que poderia ser removido da embalagem durante o ensaio e interferir no resultado. Esses frascos foram doados pela fabricante COSAN. A seguir, as embalagens foram submetidas a aquecimento controlado

**Tabela 1 - Matriz do planejamento experimental: drenagem com aquecimento.**

Ensaio	Temperatura (°C)	Posição (°)*	Resposta
1	40	60	Remoção de óleo (%)
2	40	75	
3	50	60	
4	50	75	
5	30	70	
6	60	70	
7	45	45	
8	45	90	
9	45	70	
10	45	70	
11	45	70	

\*A posição do frasco considera inclinação em relação à horizontal (°).

**Tabela 2 - Especificações do óleo LUBRAX TECNO.**

Propriedades	Valores de referência
Grau SAE	15 W/40
Densidade a 20/4 (°C)	0,8808
Ponto de fulgor - VA (°C)	240
Ponto de fluidez (°C)	-33
Viscosidade a 40°C (cSt)	97,3
Viscosidade a 100°C (cSt)	14,5
Índice de viscosidade	155

Fonte: Petrobras Distribuidora (2011b).

SAE: Society of Automotive Engineers; VA: viscosidade a quente; cSt: unidade de viscosidade (centistokes).

(exceto para o caso dos testes com temperatura ambiente) através de regulador de potência Fisatom Modelo 407 (115–230 V) e fita de aquecimento Fisatom Modelo 5–2,5 cm X 1,2 m (115 V), com variação de corrente equalizada por estabilizador APC Cubic 300 W (115 V). A indicação de temperatura interna do frasco durante aquecimento foi realizada por meio de termômetro calibrado de bulbo de mercúrio.

Após estabilizada a temperatura, os frascos foram emborcados para drenagem do óleo em aparato, previamente preparado, capaz de assegurar fornecimento de energia térmica, manutenção da inclinação definida e determinação da massa de óleo removida. O aparato foi composto de suporte de bancada universal, garras, mufas e de um medidor de ângulo digital Bosch DWM40L, com divisões em  $0,1^\circ$  e estrutura em esquadro, que indicava o ângulo e permitia a fixação da embalagem na posição do teste. O sistema era composto, ainda, por uma balança analítica SHIMADZU AUY220, utilizada para determinar a massa do óleo removido, e por um termômetro infravermelho Equitherm TR-300, que avaliava a estabilidade da temperatura durante a drenagem. A Figura 1 ilustra, de forma esquemática, os principais componentes do aparato montado para realização do experimento.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

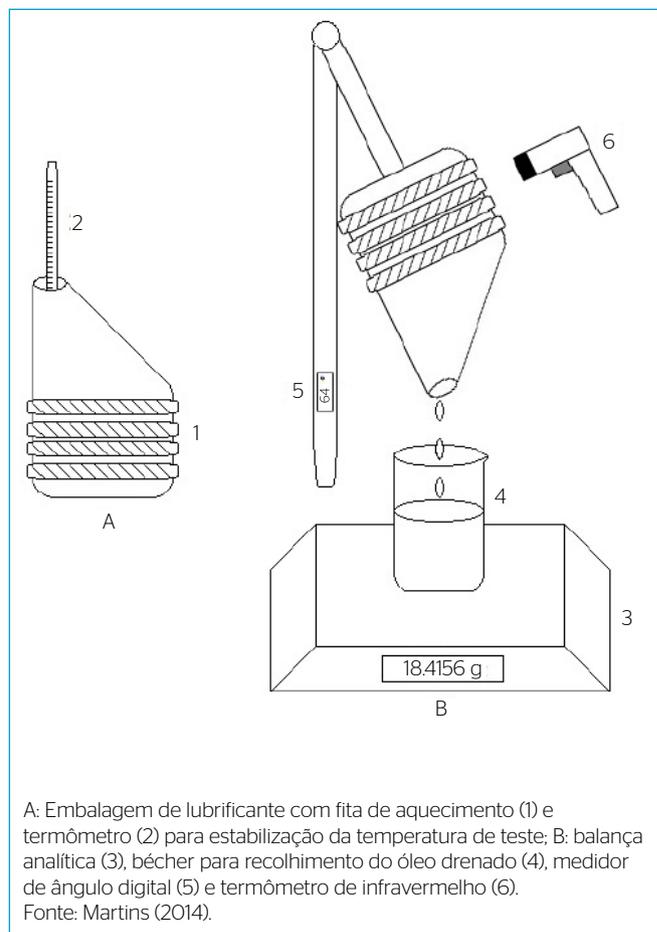
Os testes foram conduzidos nas condições definidas pelo planejamento experimental e os resultados são apresentados na Figura 2, que representa a variação do teor de remoção de óleo pelo tempo de escoamento, em cada uma das condições ensaiadas (o ponto em triplicata é representado pela média das medições). A notação utilizada para relacionar a legenda a cada curva no gráfico foi padronizada e apresenta, em sequência, o par temperatura ( $^\circ\text{C}$ ) e angulação da embalagem em relação à horizontal ( $^\circ$ ). Por exemplo, T40A60 significa que o experimento foi realizado a  $40^\circ\text{C}$ , com a embalagem inclinada a  $60^\circ$ .

A Tabela 3 complementa informações para interpretação, apresentando os valores de remoção percentual da fração oleosa em seis cortes de tempo.

A avaliação dos resultados obtidos em cada uma das condições experimentadas demonstrou que a máxima remoção do resíduo oleoso ocorreu

quando a embalagem foi mantida aquecida à temperatura de  $60^\circ\text{C}$  e posicionada para escoamento com inclinação de  $70^\circ$  em relação à horizontal. Destacou-se, também, a curva representativa da associação T50A60, ou seja, temperatura  $50^\circ\text{C}$  com inclinação  $60^\circ$ . Em ambas as condições supracitadas foram alcançados percentuais de remoção superiores a 96% em massa em menos de 20 minutos de escoamento gravitacional.

Esses resultados traduzem a direta e significativa influência do aquecimento da embalagem para otimização do processo de escoamento gravitacional do óleo remanescente: o aumento da temperatura



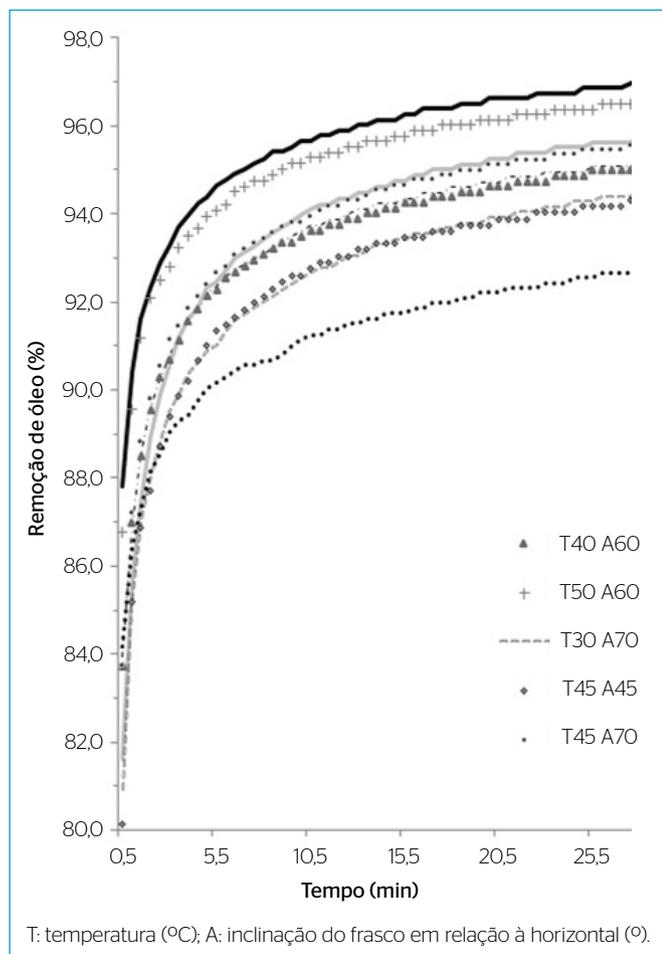
**Figura 1** - Aparato para ensaio de escoamento de óleo - representação esquemática.

**Tabela 3** - Remoção percentual da fração oleosa nas diferentes condições experimentais.

Tempo (min)	Percentual de remoção de óleo (%)								
	T40A60	T40A75	T50A60	T50A75	T30A70	T60A70	T45A45	T45A90	T45A70 (M)/°9
10	93,49	93,61	95,15	93,96	92,53	95,65	92,59	91,13	93,74
15	94,13	94,24	95,77	94,75	93,43	96,14	93,33	91,74	94,54
20	94,63	94,72	96,13	95,26	93,92	96,62	93,75	92,21	95,01
25	94,87	94,96	96,37	95,51	94,28	96,85	94,16	92,56	95,36
30	95,10	95,19	96,60	95,76	94,52	96,97	94,30	92,78	95,59
35	95,22	95,31	96,72	95,89	94,63	97,08	94,43	92,90	95,70

reduz a viscosidade do produto e assegura maior fluidez ao líquido, facilitando seu escoamento. Vale ressaltar que o experimento foi realizado com óleo multiviscoso e os resultados demonstram que o aquecimento afeta a viscosidade, independente de possíveis aditivações desses óleos. Tal comportamento também foi observado por Canciam (2013), que estudou o efeito da temperatura na viscosidade dinâmica de óleos multiviscosos. Segundo o autor a viscosidade dos óleos lubrificantes tende a sofrer um decréscimo com a elevação da temperatura, variando inversamente com essa grandeza, ou seja, a elevação da temperatura ocasiona a redução da viscosidade dinâmica.

Os resultados dos ensaios realizados sem aquecimento (temperatura ambiente monitorada, resultados não apresentados) serviram para comprovar a representativa significância da variável temperatura e para que se pudessem avaliar os máximos percentuais de remoção do resíduo oleoso conseguidos sem o fornecimento de energia, em diferentes ângulos de escoamento de óleo. Os dados obtidos demonstraram que em nenhuma das posições em que o frasco foi colocado a teste sem aquecimento houve remoção superior a 91% em massa, enquanto na pior situação dos ensaios com aquecimento a remoção atingiu 93%. Esses



**Figura 2** - Curvas de remoção da fração oleosa em relação ao tempo de escoamento.

resultados reforçam a direta e significativa influência do aquecimento da embalagem para otimização do processo de escoamento gravitacional do óleo remanescente (como já mencionado) e indicam os máximos níveis de remoção de remoção do resíduo oleoso, considerando lubrificante de viscosidade intermediária entre os lubrificantes comerciais, como é o caso do óleo semissintético ensaiado BR TECN<sup>®</sup> (PETROBRAS DISTRIBUIDORA, 2011b).

A análise estatística dos dados obtidos permitiu a avaliação da relevância de cada um dos parâmetros estudados (temperatura e posicionamento da embalagem) no processo de drenagem do resíduo oleoso. Além disso, as ferramentas de análise utilizadas possibilitaram a geração de equações do modelo matemático representativo da superfície de resposta do sistema, capazes de estimar percentuais de remoção de óleo em função das variáveis em análise.

A avaliação da relevância das variáveis estudadas foi realizada através de diagramas de Pareto. Conforme Barbosa (2009), diagramas de Pareto permitem indicar quais parâmetros e interações possuem influências significativas nas respostas do sistema. O nível de significância (valor p) deve ser previamente escolhido de modo que os resultados obtidos não influenciem a escolha (SCUDINO, 2008). Nesse trabalho foi utilizado nível de significância  $\alpha=0,05$  (IC95%).

A partir da avaliação dos dados constantes dos gráficos de Pareto é possível afirmar que ambos os parâmetros em estudo, temperatura e inclinação do frasco, possuem relevância significativa, com variações ao longo do tempo de escoamento. Em todos os casos, o ângulo em que a embalagem é posicionada tem uma contribuição quadrática com sinal negativo, indicando que a função gerada pelo modelo possui uma faixa intermediária de ângulos onde a remoção será maximizada. A influência da temperatura é linear e positiva no processo. Essas observações confirmam a relação direta de favorecimento da remoção do resíduo oleoso com aquecimento da embalagem.

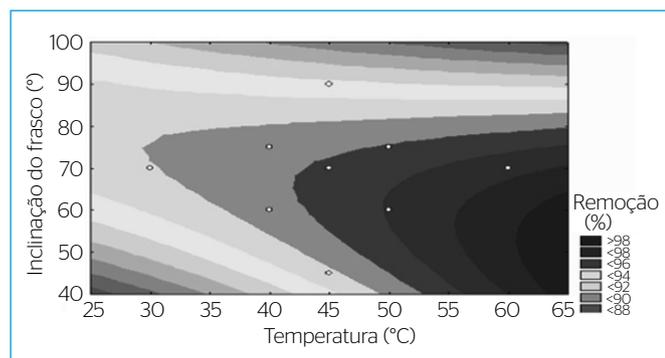
A avaliação estatística contou, também, com a geração de superfícies de resposta representativas do modelo matemático. As Figuras 3 a 6 apresentam os diagramas de contorno em cada um dos pontos de estudo e a Tabela 4 destaca as equações matemáticas representativas desse conjunto de dados experimentais.

**Tabela 4** - Equações do modelo matemático representativas do sistema de drenagem gravitacional do lubrificante BR TECNO (20, 25, 30 e 35 minutos).

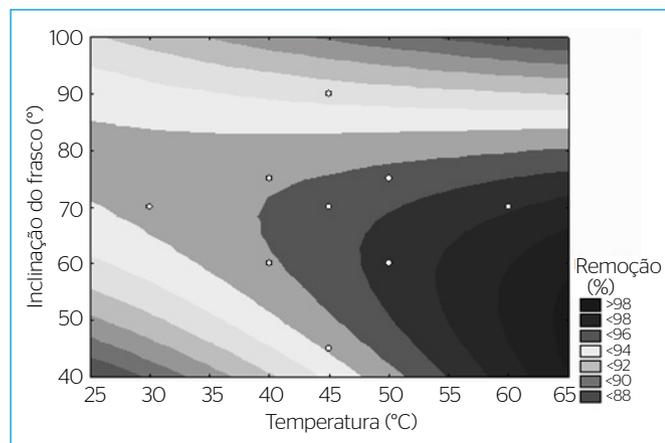
Tempo de escoamento	Equação da superfície de resposta
20 minutos	$z=53,93742+0,48878*x+0,00044*x^2+0,86363*y-0,00456*y^2-0,00627*x*y$
25 minutos	$z=54,96660+0,49026*x+0,00046*x^2+0,84330*y-0,00438*y^2-0,00637*x*y$
30 minutos	$z=54,02758+0,51475*x+0,00019*x^2+0,86238*y-0,00450*y^2-0,00641*x*y$
35 minutos	$z=54,30866+0,51428*x+0,00016*x^2+0,85801*y-0,00448*y^2-0,00637*x*y$

z: remoção de óleo (%); x: temperatura (°C); y: inclinação do frasco (°).

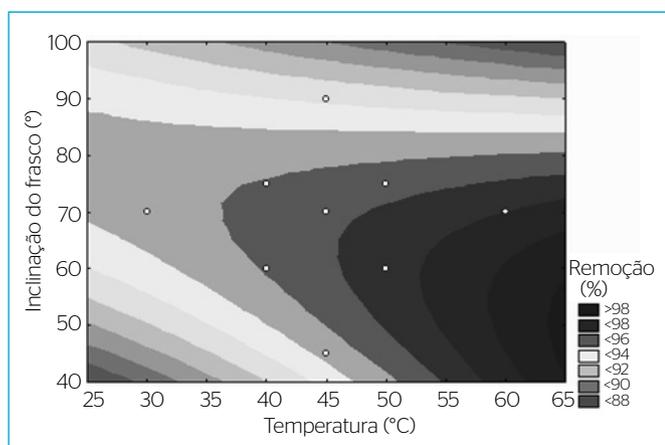
Com base nas equações matemáticas que expressam a resposta do modelo para cada um dos pontos de estudo (Tabela 4) foram determinadas as condições ótimas de temperatura e inclinação do frasco para remoção mínima de 95% em massa da fração oleosa, com menor consumo energético (Tabela 5). Dessa forma, a análise identificou a



**Figura 3** - Diagrama BR TECNO: análise do perfil de remoção com 20 minutos de drenagem.



**Figura 4** - Diagrama BR TECNO: análise do perfil de remoção com 25 minutos de drenagem.



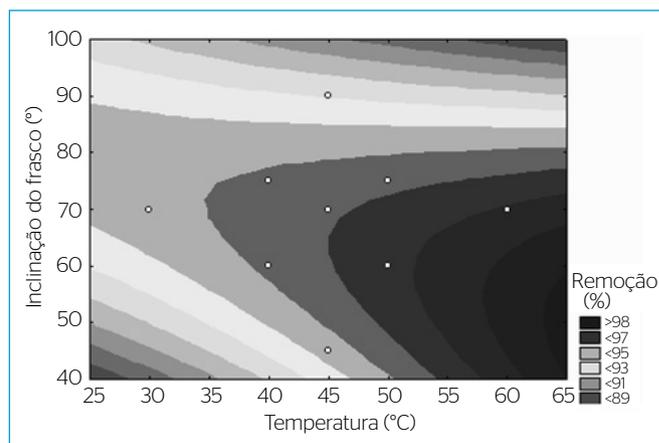
**Figura 5** - Diagrama BR TECNO: análise do perfil de remoção com 30 minutos de drenagem.

condição que associava a menor temperatura ( $x$ ) capaz de promover a remoção desejada ( $z$ ), em cada um dos cortes considerados. Vale ressaltar que o percentual de remoção supra é coerente com dados de literatura que indicaram possibilidade de reciclagem direta do recipiente plástico contaminado com lubrificante (LEI & WU, 2011).

## CONCLUSÕES

Os experimentos realizados neste trabalho demonstraram que ambos os parâmetros estudados (temperatura e posicionamento do frasco) interferem de forma significativa no perfil de drenagem do resíduo oleoso. As projeções realizadas a partir do modelo matemático representativo do sistema estudado demonstraram que a remoção da fração oleosa é favorecida pelo aquecimento e pelo posicionamento das embalagens em angulações próximas a 70° (em função da horizontal). Para o lubrificante ensaiado (TECNO), a análise estatística indicou possibilidade de remoção de 95% do resíduo oleoso, através de drenagem por 35 minutos, com frasco aquecido a 35°C e inclinado a 70° com a horizontal.

Esses resultados confirmaram a viabilidade da utilização da técnica de escoamento gravitacional como base para descontaminação



**Figura 6** - Diagrama BR TECNO: análise do perfil de remoção com 35 minutos de drenagem.

**Tabela 5** - Condições para remoção mínima de 95% do resíduo oleoso com menor gasto energético para o óleo BR TECNO (avaliação em 20, 25, 30 e 35 minutos).

Tempo de Escoamento	Remoção (°C)	Temperatura (°C)	w
	(z)	(x)	(y)
20 minutos	95,0	42	66
25 minutos	95,1	40	68
30 minutos	95,1	36	70
35 minutos	95,0	35	70

das embalagens de lubrificantes automotivos, com vistas à reciclagem mecânica direta do material plástico. É objetivo desse grupo de pesquisa determinar qual porcentagem de óleo residual na massa de plástico já permitiria a reciclagem sem lavagem e secagem, dado que não consta na literatura. O conjunto de dados experimentais e seu tratamento matemático apontam que a eficácia da remoção da

fração oleosa depende de condições operacionais definidas e controladas e, portanto, a logística reversa adequada para esse tipo de resíduo necessita do estabelecimento de sistemática detalhada que considere, ao menos, variáveis como a posição e a temperatura do frasco e o tempo mínimo de escoamento, para atingir o grau de limpeza adequado para a reciclagem.

## REFERÊNCIAS

- ACHILIAS, D.S.; ROUPAKIAS, C.; MEGALOKONOMOS, P.; LAPPAS, A.A.; ANTONAKOU, E.V. (2007) Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP). *Journal of Hazardous Materials*, v. 149, n. 3, p. 536-542.
- ARAUJO, P.W. & BRERETON, R.G. (1996) Experimental design II: optimization. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, v. 15, n. 2, p. 63-70.
- BARBOSA, J.M.D. (2009) *Recuperação de óleos pesados em reservatórios*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2009.
- BRAGA, B. (2005) *Introdução à engenharia ambiental*. 2 ed. São Paulo: Prentice Hall.
- BRASIL. (2010) Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências*. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)>. Acesso em: 25 maio 2013.
- CANCIAM, C.A. (2013) Efeito da temperatura na viscosidade dinâmica dos óleos lubrificantes SAE 5W20, SAE 5W30 e SAE 5W40. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 11, n. 2, p. 239-250.
- CARVALHO, E.G. (2014) *Otimização do processo de extração e análise quantitativa do ácido ursólico*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- D'ALMEIDA, M.L.O. & VILHENA, A. (2010) *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. 3 ed. São Paulo: IPT/CEMPRE.
- GUIMARÃES, J. (2006) *Rerrefino de óleos lubrificantes de motores de combustão interna pelo processo de ultrafiltração e adsorção*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- KIM, I.B.; HONG, S.I.; KIM, I.S.; NOH, J.S. (2001) *Process for cleaning plastics for recycling them*. US 6306222 B1. United States Patent.
- KUDRJAWZEW, V. (2009) Operação piloto. *Revista Plástico Moderno*, v. 413.
- KUMAR, S.; PANDA, A.K.; SINGH, R.K. (2011) A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 55, n. 11, p.893-910.
- LEI, Y. & WU, Q. (2009) *Composites made of thermoplastic polymers, residual oil, and cellulosic fibers*. WO 2009/079273 A2. Patent Cooperation Treaty.
- LEI, Y. & WU, Q. (2011) Recycling engine oil containers to prepare wood-plastic composites. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 122, n. 2, p. 964-972.
- MARTINS, H.M. (2005) *A destinação final das embalagens de óleo lubrificante: o caso do Programa Jogue Limpo*. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MARTINS, H.M. (2014) *Análise do cenário atual e desenvolvimento de metodologia para otimização da logística reversa de embalagens de lubrificantes automotivos pós-consumo*. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MARTINS, H.M.; CAMPOS, J.C.; GUIMARAES, M.J.O.C.; BASSANI, G.S. (2013) Avaliação do cenário atual e proposição de melhorias no processo de tratamento e disposição de embalagens de lubrificantes pós-consumo. In: *XV Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente*. São Paulo: ENGEMA.
- MUSHA, T.; YAMAMOTO, S.; TAKEDA, T. (2003) *Cleaning method of containers and apparatus thereof*. 6347637. United States Patent.
- PANDA, A.K.; SINGH, R.K.; MISHRA, D.K. (2010) Thermolysis of waste plastics to liquid fuel: a suitable method for plastic waste management and manufacture of value added products - a world prospective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 14, n. 1, p. 233-248.
- PETROBRAS DISTRIBUIDORA. (2011a) *Ficha de Informação de Segurança de Produtos Químicos - FISPQ*. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/a064638043a7b20f92639fecc2d0136c/fispq-lub-auto-tecnico.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 23 mar. 2015.
- PETROBRAS DISTRIBUIDORA. (2011b) *Informações técnicas - Lubrax Tecno*. Disponível em: <<http://www.br.com.br/wps/wcm/connect/4ecfdd8043a7b2d095ee9fecc2d0136c/ft-lub-auto-tecnico.pdf?MOD=AJPERES>>. Acesso em: 22 mar. 2015.
- PIRES, A.S. (2015) *Reciclagem de frascos plásticos de postos de gasolina*. Ambiente Brasil. Disponível em: <[http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/artigos/reciclagem\\_de\\_frascos\\_plasticos\\_de\\_postos\\_de\\_gasolina.html?query=Reciclagem+de+frasco+s+p%C3%A1sticos+de+postos+de+gasolina](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos/artigos/reciclagem_de_frascos_plasticos_de_postos_de_gasolina.html?query=Reciclagem+de+frasco+s+p%C3%A1sticos+de+postos+de+gasolina)>. Acesso em: 16 mar. 2015.

PORTAL ACTION. (2014) Experimento composto central. In: *Planejamento de experimento*. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/622-631-delineamento-composto-central>>. Acesso em: 27 mar. 2015.

SCUDINO, P.A. (2008) *A utilização de alguns testes estatísticos para análise da variabilidade do preço do mel nos municípios de Angra dos Reis e Mangaratiba, Estado do Rio de Janeiro*. Monografia (Licenciatura e Bacharelado em Matemática) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SIDDIQUI, M.N. (2009) Conversion of hazardous plastic wastes into useful chemical products. *Journal of Hazardous Materials*, v. 167, n. 1-3, p. 728-735.

SIDDIQUIE, R.; KHATIB, J.; KAUR, I. (2008) Use of recycled plastic in concrete: a review. *Waste Management*, v. 28, n. 10, p. 1835-1852.

SMITH, H.M.; BOHNERT, G.W.; OLSON, R.B.; HAND, T.E. (1998) Method to separate and recover oil and plastic from plastic contaminated with oil. US 5711820 A. United States Patent.

TENÓRIO, J.A.S. & ESPINOSA, D.C.R. (2004) Controle ambiental de resíduos. In: PHILIPPI JUNIOR, A.; ROMÉRO, M.A.; BRUNA, G.C. (Eds). *Curso de gestão ambiental*. 1 ed. Barueri: Manole. p. 155-211.

THALHEIMER, C.A. (2008) *Curso de gestão de óleo lubrificante automotivo usado*. Programa piloto para minimização dos impactos gerados por resíduos perigosos. Sistema Fiergs. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/3833382-Curso-de-gestao-de-oleo-lubrificante-automotivo-usado-eng-mecanico-carlos-alexandre-thalheimer.html>>. Acesso em: 15 mar. 2015.

XAVIER, L.H.; CARDOSO, R.S.; FIGUEIREDO, M.A G. (2005) Gestão ambiental de resíduos: aspectos legais da destinação de resíduos. *Revista Meio Ambiente Industrial*, v. 53, p. 42-46.

XAVIER, L.H.; CARDOSO, R.; MATOS, R.M.; ADISSI, P.J. (2006) Legislação ambiental sobre destinação de resíduos sólidos: o caso das embalagens plásticas pós-consumo. In: *XIII Simpósio de engenharia de produção da Universidade IMPEP*. Bauru: SIMPEP.

ZAPP, J. (2011) *System for recycling of HDPE from motor-oil containers*. US 7980494 B2. United States Patent.