MANUFATURA REVERSA DE REFRIGERADORES

Alexandre de Oliveira e Aguiar

Doutor em Saúde Pública pela Universidade de São Paulo – USP

Professor pelo Programa de Mestrado e Doutorado em Administração - PMDA Universidade Nove de Julho – UNINOVE
aaguiar@uninove.br

Fabiola Aparecida Vizentim

Especialista em Tecnologias Ambientais pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo – FATEC/SP
fabiolavizentim@gmail.com

RESUMO

O objetivo desse estudo foi estudar as dificuldades, os procedimentos e as necessidades tecnológicas dos equipamentos envolvidos no processo de manufatura reversa de refrigeradores. Adotou-se, para isso, uma abordagem exploratória qualitativa para esta investigação. Os resultados mostram que a manufatura reversa de refrigeradores é um processo que necessita de um aporte tecnológico que considere não só a recuperação das matérias-primas, mas também a captura do gás clorofluorcarboneto (CFC) e seus substitutos presentes nesses equipamentos. A manufatura reversa de refrigeradores não pode ser vista apenas sob a ótica financeira, mas sim como uma solução ambiental para minimizar a exaustão de recursos naturais, por evitar que materiais nobres sejam despejados em aterros, e para minimizar a poluição. A eliminação da lacuna existente na regulamentação brasileira sobre a destinação de equipamentos de refrigeração deve levar em conta a disponibilidade de tecnologias para manufatura reversa ambientalmente segura de refrigeradores e a necessidade de custeio desse processo pelos agentes envolvidos em toda a cadeia de suprimentos.

Palavras-chave: Eletrodomésticos; Gases refrigerantes; Manufatura reversa; Reciclagem.

MANUFACTURING REFRIGERATION OF REVERSE

ABSTRACT

The study's objective was to study the difficulties; procedures and technological needs of equipments involved in the refrigerators reverse manufacturing. A qualitative exploratory approach has been used. The results show that reverse manufacturing of refrigerators is a process that needs technological resources that take into consideration not only the materials recovery but also the recovery of CFC gases and their substitutes that are present in these appliances. Reverse manufacturing of refrigerators does not bring enough financial results to balance costs. It can not be seen only under the financial point of view, but as an environmental solution to minimize natural resources depletion by avoiding noble materials being landfilled, and to minimize pollution. The elimination of existing gap in the Brazilian regulations on refrigeration appliances destination has to take into consideration the availability of Technologies for the environmentally sound reverse manufacturing of refrigerators, and the need of funds from agents that are involved in all the supply chain.

Key words: Domestic appliances; Recycling; Refrigerant gases; Reverse manufacturing.

* Apoio recebido do **Fundo de Apoio a Pesquisa - FAP/UNINOVE** 1 **INTRODUÇÃO**

1 INTRODUÇÃO

A questão dos resíduos sólidos tem sido citada como uma das mais sérias da atualidade. A crescente falta de espaços para novos aterros sanitários, aliada aos entraves existentes para a recuperação dos materiais não-renováveis, sem contar com as poucas iniciativas de implantação de novas soluções de tratamento e reciclagem representam hoje um enorme desafio, principalmente para os países em desenvolvimento (Rodrigues, 2007).

Nos últimos anos ocorreu um aumento significativo na geração de resíduos oriundos do descarte dos bens de consumo duráveis e, em especial, de produtos eletrônicos e elétricos de consumo, tais como equipamentos de informática, eletrodomésticos, equipamentos de vídeo e som, equipamentos de iluminação, equipamentos de telefonia móvel e fixa (Widmer et al., 2005). As principais causas desse aumento são: a constante inovação tecnológica, a diminuição do tempo de uso dos produtos, e a geração de novas necessidades e desejos (Cooper, 2005).

Quando bens de consumo duráveis são descartados prematuramente, são desperdiçados recursos naturais não-renováveis e a energia envolvida na sua produção. Além disso, segundo Neves (2002), enquanto os recursos naturais se tornam mais escassos, grandes quantidades de plásticos, metais, papéis, etc. se acumulam nos lixões das metrópoles. No entanto, esta situação pode ser revertida e uma quantidade significativa deste material pode ser reaproveitada por meio da manufatura reversa, que possibilita o encaminhamento de materiais de aparelhos obsoletos para processos de reciclagem.

No ano de 2010 foi promulgada a Lei 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Essa lei trouxe alguns elementos novos para a gestão integrada de resíduos, em particular a responsabilidade compartilhada e a logística reversa como instrumentos de implementação. De acordo com o artigo 31 do referido diploma, fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes têm responsabilidade no “[...]recolhimento dos produtos e dos resíduos remanescentes após o uso, assim como sua subsequente destinação final ambientalmente adequada, no caso de produtos objeto de sistema de logística reversa” (Brasil 2010, p.1). Adicionalmente, o artigo 33 determina que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de produtos eletroeletrônicos, entre outros, devem implantar sistemas de logística reversa para darem destinação ambientalmente adequada aos produtos e embalagens para os quais há obrigação de logística reversa. Ora, uma vez que os refrigeradores são também equipamentos eletroeletrônicos, os fabricantes e importadores terão que desenvolver por si próprios ou por meio de parceiros as tais soluções ambientalmente adequadas, para dar vazão e destino aos equipamentos recolhidos.

A manufatura reversa pode ser, portanto, uma estratégia importante para solução das questões ambientais geradas pelo descarte de refrigeradores antigos, seja esse descarte pelo fim da vida útil ou pela obsolescência, do ponto de vista de conforto ou consumo de energia. No entanto, para viabilizá-la, é preciso poder demonstrar suas vantagens ambientais e garantir que haja meios econômicos para sua implantação.

No Brasil, de acordo com a Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios 2009 (Ibge, 2010), 93% dos domicílios possuem refrigeradores, o que significa, pelo menos, 54,7 milhões de refrigeradores existentes, sem considerar que alguns domicílios possuem mais de um refrigerador e que instalações comerciais e industriais também os possuem, não havendo uma estimativa para esse número. Dessa quantidade de aparelhos, estima-se que o parque de refrigeradores com CFC e HCFC é de 15 milhões de unidades, o que corresponde a um estoque médio de 9 milhões de toneladas de gases. Além do potencial de destruição da camada de ozônio, o CFC e o HCFC também causam aquecimento global (Peixoto, 2009). Vários dos gases de refrigeração substitutos, tais como os HFCs (hidrofluorcarbonos) são gases de efeito estufa, de acordo com o protocolo de Kioto.

Em diversos países, existem estímulos para a substituição de refrigeradores antigos, com o intuito de diminuir o consumo de energia. No Brasil, o governo federal chegou a cogitar tal estímulo. Os benefícios do programa incluiriam tanto a redução do consumo de energia elétrica

quanto o tratamento adequado dos refrigeradores antigos, que tipicamente contêm gases tipo clorofluorcarbono (CFC) e hidroclorofluorcarbono (HCFC) como fluido de refrigeração e como agente expansivo nas espumas isolantes. O montante de refrigeradores que seriam substituídos seria de 10 milhões de unidades num prazo de 10 anos (Ambientebrasil, 2008). Adicionalmente, de acordo com Melo e Januzzi (2008), 30% dos refrigeradores no Brasil têm mais de 10 anos de uso.

Nesse contexto, surgem as perguntas: como interagem as questões ambientais, tecnológicas e econômicas no processo de manufatura reversa dos refrigeradores? Existem condições favoráveis, atualmente, para sua implementação? Quais as tendências para as políticas públicas correspondentes?

Este estudo tem como objetivo explorar as dificuldades, os procedimentos e as necessidades tecnológicas dos equipamentos envolvidos no processo de manufatura reversa de refrigeradores. Para tanto, pretende também identificar os benefícios ambientais provenientes da manufatura reversa, os requisitos financeiros e as necessidades de políticas públicas para viabilização dessa estratégia, em particular a interação com a recente aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

2 MANUFATURA REVERSA E A DESTINAÇÃO DOS REFRIGERADORES

Nesta seção, serão abordados os conceitos básicos associados à manufatura reversa e aprofundado o contexto da destinação dos refrigeradores no fim de sua vida útil, incluindo comentários sobre estudos anteriores.

2.1 Manufatura reversa

Manufatura reversa é o processo pelo qual os produtos manufaturados obsoletos (refugo de fabricação – pré-consumo ou equipamentos antigos – pós-consumo) são descaracterizados e revertidos em matérias-primas para serem inseridos novamente nos processos produtivos de forma sucessiva e sistêmica e assim adquirir valor comercial. As substâncias inservíveis resultantes do processo são destinadas de maneira correta, evitando que os resíduos poluam o solo, o ar e comprometam a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, e provoquem sérias consequências à saúde humana e ao meio ambiente (Lopes, 2008). A manufatura reversa é um processo que leva em conta os aspectos econômicos, ambientais e sociais. Ela implica na participação de toda a cadeia produtiva, inclusive o próprio consumidor final, no processo de reversão. Segundo a norma alemã RAL-GZ 728 (2007), a manufatura reversa de refrigeradores possui como finalidade, em primeira instância, a recuperação da maior quantidade possível das substâncias que agredem a camada de ozônio e que contribuem para o aquecimento global presentes no circuito de refrigeração e no isolamento térmico (espuma de poliuretano) como, por exemplo, os gases tipo clorofluorcarbono (CFC) e o hidroclorofluorcarbono (HCFC). A manufatura reversa é um processo que leva em conta os aspectos econômicos, ambientais e sociais. Ela implica na participação de toda a cadeia produtiva, inclusive o próprio consumidor final, no processo de reversão.

Segundo Realff et al (2004) a manufatura reversa inclui as atividades de remanufatura e desmanufatura, em conexão com o processo de logística reversa que viabiliza a disponibilidade de resíduos. A remanufatura consiste em recuperar equipamentos sem condições de uso, por meio de recondição e/ou substituição de peças, de forma que possa ser utilizado para a mesma aplicação original. A desmanufatura é o processo de desmontagem de aparelhos em seus componentes menores, o tanto quanto possível, para destinação de suas partes tipicamente para reciclagem, ou para outra destinação considerada ambientalmente adequada.

A manufatura reversa é possibilitada pela logística reversa, que permite a ligação entre o descarte de produtos usados e os processos de reaproveitamento dos materiais.

Logística reversa pode ser compreendida como a área da logística empresarial que planeja, executa e administra o fluxo, e os dados logísticos relacionados, do retorno dos bens de pré-consumo e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de

distribuição reversos, acrescentando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros (Leite, 2003).

Assim como no processo logístico direto, a operacionalização de processos logísticos reversos exige uma infraestrutura logística adequada para administrar os fluxos de entrada de materiais usados e fluxos de saída de materiais processados. Instalações de processamento e armazenagem e sistemas de transporte devem ser desenvolvidos para unir, de maneira eficiente, os pontos de consumo onde os materiais usados devem ser coletados até os locais onde serão utilizados no futuro (Leite, 2003).

Rousis et al. (2008) esclarecem que a reciclagem de resíduos eletroeletrônicos em geral pode ser dividida em três etapas: (a) desmontagem, com o objetivo de separar materiais perigosos ou componentes com valor econômico; (b) atualização: uso de processos físicos e/ou mecânicos ou metalúrgicos para prepará-los para processo de refino; (c) refino: último estágio, em que os materiais são utilizados para produzir um novo produto.

Rousis et al. (2008) e Penev e DeRon (1994) descrevem diversas alternativas de processos de desmontagem de refrigeradores. Penev e DeRon (1994) descrevem um processo em que após a extração dos líquidos, todos os materiais são triturados conjuntamente num equipamento tipo *shredder* para depois ser realizada a separação por meios conhecidos. Ao estudar alternativas, os autores já propõem que a etapa de trituração seja feita em um ambiente com exaustão para captura de gases que atacam a camada de ozônio. Rousis et al. (2008), por outro lado, descrevem um processo em que os materiais são separados durante a desmontagem, praticado pela Metec Matsushita Eco Technology.

2.2 Refrigeradores, questões ambientais e reciclagem

As questões ambientais essenciais pertinentes aos refrigeradores são: a presença de gases que destroem a camada de ozônio e/ou possuem alto potencial de aquecimento global, dependendo do tipo de gás utilizado; o consumo de energia ao longo da vida útil; e a disposição dos resíduos ao final de sua vida útil.

Penev e DeRon (1994) apresentavam um estudo da composição do refrigerador em termos dos materiais (Tabela 1).

Tabela 1: Composição aproximada dos materiais de refrigeradores desmontados.

Material	Composição %
Ferro	65,4
Plástico	12,2
Isolamento + R11	10,8
Alumínio	4,8
Cobre	2,6
R12 + Oleo	1,3
Outros materiais	2,8

Fonte: Adaptado de Penev e DeRon (1994)

Metec Matsushita Eco Technology Center apud Rousis e colaboradores (2008), apresentam uma composição diferente, com menos aço e mais plásticos (Tabela 2):

Tabela 2: Composição aproximada dos materiais de refrigeradores desmontados

Material	Composição %
Aço	50
Plástico	40
Cobre	4
Alumínio	3
Outros materiais	3

Fonte: Adaptado de Metec apud Rousis e col. (2008).

Outros materiais podem incluir materiais perigosos ou com questões ambientais específicas, tais como os gases tipo clorofluorcarbono (CFCs) que atacam a camada de ozônio, seus substitutos fluorcarbonos, que são gases de efeito estufa. A figura 1 mostra as questões ambientais envolvidas com o descarte dos refrigeradores e seus componentes.

Componente	Materiais a serem recuperados ou tratados
Gabinete	Quando de aço, podem conter revestimentos de metais pesados ou pintura que os contenham. O aço pode ser reciclado.
Isolamento	Podem conter amianto. Pode conter lã de vidro. Pode conter espuma de poliuretano. Antes da implantação do Protocolo de Montreal, as espumas eram feitas utilizando CFCs como agentes expansores.
Serpentina e evaporador	Contém cobre, que é reciclável. Em alguns casos, pode conter solda de chumbo, que é um metal pesado.
Compressor	Contém óleo lubrificante.
Motor	Contém cobre e pode conter também resinas.
Ventilador	Composto de material metálico ou plástico.
Componentes eletrônicos	Placas de circuito interno podem conter chumbo (em geral, as mais antigas contêm). Semicondutores encapsulados podem conter arsênio.

Figura 1: Componentes dos refrigeradores e materiais envolvidos.

Fonte: Adaptado de Epelbaum e Aguiar (2002), Rousis e colaboradores (2008).

De acordo com Electrolux (2010), a maior parte do impacto ambiental dos refrigeradores ocorre ao longo do seu ciclo de vida, como resultado do consumo de energia e das atividades de manutenção do aparelho.

Deng et al. (2008) definem seis cenários operacionais para a destinação de refrigeradores antigos, considerando o reuso ou reciclagem:

- a) remanufatura e venda do refrigerador remanufaturado
- b) Pré-tratamento + desmontagem completa + trituração em ambiente hermético
- c) Pré-tratamento + desmontagem completa + trituração em ambiente aberto
- d) Pré-tratamento + trituração em ambiente hermético
- e) Pré-tratamento + trituração em ambiente aberto
- f) Pré-tratamento + incineração e recuperação de energia + recuperação de metais.

Este estudo sugere que, para refrigeradores com menos de 8 anos de uso, a alternativa de remanufatura é a mais recomendável.

Por outro lado, Kim et al. (2006) afirmam que a remanufatura seja considerada ideal para refrigeradores com idade entre 2 e 7 anos se o objetivo é otimizar o consumo de energia, e entre 2 e 12 anos se o objetivo é minimizar o potencial de aquecimento global. Horie (2004) estabelece 2 a 12 anos ou 4 a 12 anos, dependendo da fonte de informação utilizada para a simulação, mas destaca que a vida média de um refrigerador nos Estados Unidos é de 14 anos.

As alternativas de trituração em ambiente aberto representam uma ameaça ambiental por liberarem gases que atacam a camada de ozônio e intensificam o efeito estufa, mas não são normalmente discutidas em artigos que focam o ponto de vista econômico. Alguns estudos, por exemplo, se limitam a abordar **sobre** o consumo de energia ou a reciclagem dos materiais.

2.3 Logística reversa e programas de incentivo ou cobrança

Para que possa ser feita a disposição ambientalmente adequada de qualquer equipamento sujeito a logística reversa, é preciso obter a adesão da população. Isso pode ser feito por meio de programas voluntários ou por meio de obrigação legal.

Em certos países, o consumidor tem que pagar para dispor seus refrigeradores antigos. De acordo com Aizawa et al. (2008), no Japão o consumidor paga para dispor o eletrodoméstico, em média, USD 42 por refrigerador. Segundo Scartezini (2011), na França a taxa varia entre 13 e 15,6 euros, dependendo do potencial de aquecimento global do gás contido no aparelho. Nos Estados Unidos, não havendo uma política nacional, cada estado tem seu próprio sistema. A título de exemplo, com o programa Energy Trust of Oregon o consumidor ganha um subsídio de USD 50 para substituir um refrigerador antigo, e o programa ainda faz intensa comunicação a respeito da economia anual em energia que pode chegar a mais de USD 100. Por outro lado, uma empresa cobra USD 15 para retirar mais uma taxa de USD 15 para reciclar um refrigerador antigo.

Liu et al. (2009) estudaram o programa chinês de reciclagem opcional de refrigeradores, que inclui um pagamento ao consumidor que entregar o aparelho antigo, e concluem que a reciclagem de eletrodomésticos como um todo não é economicamente viável, apesar da recuperação de materiais, nas condições em que o sistema funciona em Beijing.

Januzzi (2007) estudou a viabilidade de um programa de subsídio a substituição de refrigeradores antigos no Brasil, em razão da existência de famílias que pagam por energia subsidiada. Segundo o autor, tal programa de substituição poderia reduzir efetivamente o consumo de energia, com a retirada do subsídio na tarifa, sem afetar a capacidade de pagamento da população.

Cardoso et al. (2009) avaliaram a viabilidade econômica da substituição de refrigeradores antigos por refrigeradores novos no Brasil, relatando que existem benefícios econômicos da compra de modelos mais eficientes para o consumidor, exceto na condição compra a crédito por consumidor que paga baixa tarifa de energia e em locais mais frios, em que vale a pena a compra de modelos menos eficientes.

Todos esses exemplos mostram a importância de se balancear a comprovada viabilidade econômica e de economia de energia da substituição de aparelhos antigos, com a geração de resíduos associada. Diversas soluções são utilizadas para fazer frente aos custos da reciclagem. Esses custos são, basicamente, os da logística reversa e de manufatura reversa.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa está baseada em um estudo de caso, tendo como objeto principal a implantação do processo de desmontagem de refrigeradores, comparando o processo manual com o mais automatizado, representado por uma tecnologia específica de origem europeia.

Uma vez que os detalhes operacionais são relativamente pouco explorados na literatura, particularmente para o caso específico dos refrigeradores, a abordagem pode ser considerada exploratória. Também é predominantemente qualitativa, uma vez que os números obtidos nos resultados não necessariamente apresentam significância estatística para inferência de resultados em outras realidades.

As etapas para a elaboração da pesquisa consistiram em: pesquisa bibliográfica; observação participante do projeto de elaboração da norma ABNT NBR 15883:2010; Manufatura reversa – Aparelhos, do planejamento para a implantação de um equipamento europeu para esse processo no Brasil, em uma empresa denominada Alpha.

O equipamento de manufatura reversa de refrigeradores, que foi especificamente analisado, foi desenvolvido por uma empresa europeia que opera em diversos países da Europa. Os dados quantitativos e qualitativos mencionados foram coletados em relatórios de unidades em operação na Europa. O estudo se limitou ao estágio “desmontagem”, conforme descrito por Rousis et al. (2008). Este é o estágio em que mais se diferenciam as operações de manufatura reversa quando

comparados com diferentes produtos, uma vez que após a desmontagem os materiais entram no mercado normal de reciclagem ou devem ser destinados a soluções ambientais seguras.

Este estudo não teve a pretensão de generalizar ou esgotar as informações sobre as tecnologias de manufatura reversa de refrigeradores existentes no mercado. O foco foi na seleção de alguns processos que pudessem exemplificar as dificuldades, os procedimentos e as características dessa prática.

4 RESULTADOS DA PESQUISA

A manufatura reversa de refrigeradores analisada, planejada pela empresa Alpha, é composta por três etapas, correspondentes a alternativa (d), entre as propostas por Deng et al. (2008), - pré-tratamento + trituração em ambiente hermético:

1. Pré-Processamento – Remoção dos acessórios (partes internas): gavetas, grades, prateleiras, cabo de ligação à energia elétrica, capacitores, contadores e termostatos. O fluxograma do pré-processamento pode ser verificado na Figura 2.

2. Fase I – Retirada do fluido de refrigeração, do óleo lubrificante e do compressor. Sistemas herméticos e circuito fechado evitam a emissão de gases e é feita separação entre óleo lubrificante e fluido de refrigeração (Figura 3)

3. Fase II - Remoção da espuma de poliuretano, dos agentes de expansão, dos materiais ferrosos, não-ferrosos e plásticos.

Figura 2: Fluxograma de pré-processamento.

Fonte: Dados da pesquisa

Os equipamentos envolvidos não apresentam grandes inovações tecnológicas em si, já sendo utilizados normalmente em outros processos industriais. A inovação é de processo, por meio da utilização desses equipamentos de maneira organizada para executar a manufatura reversa de refrigeradores, de forma ambientalmente mais segura. Alguns exemplos desses equipamentos são:

equipamentos normais de movimentação de carga, tais como talhas e pontes rolantes; ferramentas manuais; puncionadores herméticos; sistema de exaustão e filtragem; sistema de degaseificação e condensação e sistemas de fechamento hermético de ambientes.

Figura 3: Fluxograma Fase I.

Fonte: Dados da pesquisa

O equipamento da empresa Alpha está planejado para processar 50 aparelhos/hora, o que, se considerado o trabalho em dois turnos de 44 horas semanais, leva a uma capacidade de 228.800 aparelhos/ano.

Figura 4: Fluxograma Fase II.

Fonte: Elaborado pelos autores.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados são discutidos, a seguir, abordando três dimensões principais: os aspectos operacionais, incluindo as questões de produtividade e as implicações ambientais; as questões relativas aos custos e a um eventual retorno financeiro, em razão dos materiais recicláveis recuperados; e, finalmente, algumas considerações sobre questões de logística e tecnológicas adicionais.

5.1 Aspectos operacionais

As informações presentes no estudo realizado por Neves (2002) serão utilizadas para comparar um processo automatizado (equipamento europeu) e um processo manual. Neves (2002) realizou a desmontagem de um refrigerador doméstico novo 1 porta, 293 litros, 220 volts. O

processo de Neves (2002) não pode ser considerado um processo de manufatura reversa completo, pois não captura o fluido refrigerante e o agente de expansão da espuma. Um resumo dos comentários está na figura 5.

Fase	Assunto	Processo manual (Neves 2002)	Processo automatizado (ALPHA)
Pré-tratamento	Tempo de execução dos processos.	6.621,73 segundos (aproximadamente 1 hora e 50 minutos)	1 minuto e 12 segundos
	Gavetas, prateleiras, acessórios e cabos de energia.	Separados para reciclagem.	Separados para reciclagem
	Capacitores, contadores e termostatos.	Não comenta (*)	Separados para tratamento, se contendo PCBs
Fase I	Retirada do óleo e fluido refrigerante.	Sem cuidados adicionais, ocorre emissão de gases refrigerantes para a atmosfera.	Puncionamento hermético com extração a vácuo, sem emissão para atmosfera.
	Separação do fluido refrigerante misturado ao óleo do compressor, correspondente até 30% do volume.	Não há separação.	Desgaseificação, separado com residual até 0,1% de gás no óleo
	Compressor	Separado inteiro para reutilização. Desvantagens (1) só pode ser utilizado para fluido do mesmo tipo e (2) consumo de energia é tipicamente mais alto que compressores modernos.	Compressor não é reutilizado, sendo descaracterizado e enviado para reciclagem dos materiais que o compõem.
Fase II	Separação dos gases expansores de espuma (CFC nos aparelhos antigos)	Não ocorre	Coletado no ambiente hermético e por aquecimento da farinha de poliuretano, com residual menor que 0,2% do gás em peso, sendo condensado e armazenado para posterior processamento. Sistema de exaustão com filtragem para evitar emissão.
	Poliuretano	Separado com dificuldades da estrutura metálica do refrigerador, utilizando o método da "descascagem", sem captura de gases.	Separado após a trituração por processos pneumáticos. Atrito na trituração assegura separação da parte metálica. Posteriormente, reduzido a farinha, dimensões < 0,2 mm. Ambiente hermético com captura dos gases.
	Materiais ferrosos, plásticos e não-ferrosos	Separados sem trituração	Separados após trituração por separação magnética e centrifugação.

Figura 5: Comparação entre aspectos operacionais dos métodos manual e automatizado.

(*) a separação, mesmo que manual, permite a destinação adequada dessas partes.

5.2 Mercado de recicláveis e sustentação financeira do processo

Após a finalização das três etapas do processo de manufatura reversa, em média, obteve-se por refrigerador a composição descrita na tabela 1, com uma recuperação de 97% dos materiais. O aço, seguido do plástico é, em massa, o material que se apresenta em maior quantidade. Já em termos de retorno financeiro, o maior provém do compressor (em média, R\$ 15,00 – segundo Neves (2002)), quando não desmontado, seguido do cobre, que é um material nobre.

Entretanto, devido a sua tecnologia, o compressor somente poderia ser utilizado na manutenção de refrigeradores com mesmo fluido de refrigeração inicialmente utilizado e, além disso, a reutilização desse compressor manteria o elevado consumo de energia. O processo europeu não reutiliza o compressor, que passa por um processo de descaracterização, reciclagem dos materiais que o compõe e destinação final das frações não-recuperáveis, de acordo com a legislação ambiental aplicável.

Segundo Viotto (2009), uma recicladora brasileira cobra R\$ 55,00 para realizar a manufatura reversa de refrigeradores, envolvendo todos os custos operacionais e administrativos. Assim, somente a venda dos materiais recicláveis não é suficiente para custear o processo (representa, aproximadamente, 36% do valor). O custo estimado pela empresa que estava planejando a implantação do equipamento estava em torno de R\$ 50,00, por aparelho, o que confirma que o processo não é sustentável do ponto de vista financeiro, corroborando os resultados de Deng et al. (2008).

Nos países europeus o processo é pago pelos fabricantes, pois a responsabilidade do produtor por um produto é estendida à fase pós-consumo de seu ciclo de vida, incluindo sua disposição final (Scartezini, 2011).

Tabela 1: Composição dos Refrigeradores (Média).

Componente	Peso (%)	Peso (Kg)	Valor de Venda (R\$)
Aço	48,7	14,00	7,70
Plástico	27,9	8,00	1,60
Cobre	3,7	1,06	8,53
Alumínio	2,2	0,64	2,13
Poliuretano	13,2	3,80	-
CFC-12 e substitutos	1,0	0,30	-
CFC-11 e substitutos	2,8	0,80	-
Outros	0,4	0,12	-

Fonte: Os pesos foram extraídos dos relatórios de produção, os valores de venda, com base em informações dos *sites* do Cempre (2008) e da Folha de São Paulo, 2009.

5.3. Logística reversa e as características dos equipamentos

Os equipamentos que são utilizados podem ser operados normalmente por profissionais brasileiros, após a realização de treinamentos. A manutenção também pode ser realizada por técnicos locais.

As fases I e II podem ocorrer em equipamentos móveis, o que evitaria as despesas e a agressão ambiental por causa do transporte (consumo de combustível somente para transportar as carretas ao invés dos refrigeradores, risco de escape dos fluidos), na grande extensão territorial do Brasil, dos produtos no final do seu ciclo de vida. Há que se estudar, em cada caso, a disponibilidade de espaço para armazenamento e a frequência de viagens do equipamento móvel para avaliar o custo de armazenamento.

A mobilidade desses equipamentos de manufatura reversa também facilita a ligação entre os pontos de coleta e os de manufatura reversa, pois o processo pode ser realizado no próprio local de armazenamento.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há algumas indefinições na regulamentação ambiental brasileira que causam impactos na manufatura reversa de refrigeradores.

Na Instrução Normativa nº 37 do Ibama de 29 de junho de 2004 sobre o cadastramento das empresas que operam com substâncias controladas pelo Protocolo de Montreal, não existe uma definição específica para as recicladoras. A definição correta é importante, pois essa informação é utilizada no registro do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras, que, por sua vez, possibilita a implementação de procedimentos sistematizados para o controle das substâncias que destroem a camada de ozônio, em atendimento ao estabelecido no Protocolo de Montreal.

Outra questão brasileira em relação ao CFC e HCFC é a não existência, nas Instruções Normativas do Ibama, de artigos relacionados a outras fontes potenciais de emissão existentes como, por exemplo, o circuito de refrigeração e as espumas de poliuretano dos refrigeradores, por isso, se definem medidas apenas para a produção e consumo. Essa lacuna permite que ainda sejam utilizados processos de desmontagem que não cuidam da emissão desses gases e dificultam a implantação de processos ambientalmente mais adequados, tais como a manufatura reversa automatizada.

A manufatura reversa de refrigeradores precisa ser analisada sob diferentes perspectivas, pois a situação não pode ser explicada e compreendida de forma isolada, visto que envolve diversos fatores ambientais, tais como a destinação dos produtos manufaturados para aterros como resíduos urbanos domiciliares, a questão da eficiência energética, a destruição da camada de ozônio e a participação no aquecimento global.

Independentemente do processo e do equipamento utilizado no processo de manufatura reversa de refrigeradores, dois objetivos devem ser contemplados e disseminados na sociedade: recuperar ao máximo os materiais e capturar a quantidade máxima de CFC e seus substitutos presentes nos sistemas de refrigeração e na espuma de poliuretano.

Quando comparado com o processo manual de desmontagem, a manufatura reversa possui como principal vantagem ambiental o alto grau de captura de gás CFC e seus substitutos presentes nos refrigeradores.

Assim, diferentemente da reciclagem, a manufatura reversa de refrigeradores como estratégia para a etapa final do seu ciclo de vida, não pode ser vista apenas sob a ótica financeira, mas sim como uma solução para manter as reservas de recursos naturais. A manufatura reversa evita que materiais nobres sejam lançados em aterros, permitindo seu reaproveitamento ao invés da retirada de novos recursos da natureza. Também evita a poluição em níveis local e global, evitando que óleos e outros componentes potencialmente perigosos, e gases que podem causar depleção da camada de ozônio e intensificação do efeito estufa sejam lançados no meio ambiente.

Segundo os resultados apresentados na tecnologia europeia de manufatura reversa de refrigeradores, não se identificou nenhuma questão tecnológica que inviabilizasse a implantação, no Brasil, do equipamento que realiza o processo estudado, sendo tanto as técnicas de desmontagem quanto de proteção ambiental conhecidas. A inovação está na aplicação dessas técnicas para o processo específico de manufatura reversa de refrigeradores.

Com a promulgação da Política Nacional dos Resíduos Sólidos, a responsabilidade dos fabricantes e importadores ficou mais clara, no entanto, ainda faltam definir detalhes do sistema operacional de logística reversa e sua interação com manufatura reversa para destinação adequada dos refrigeradores e demais eletroeletrônicos recolhidos.

Um dos elementos-chave da discussão nos acordos setoriais será, provavelmente, a definição da origem dos recursos para subsidiar a manufatura reversa, uma vez que ela não é autossustentável. A implantação depende, portanto, de políticas que estabeleçam os pagamentos de taxas ou outras formas de internalização dos custos do processo. Os custos de, aproximadamente, R\$ 50,00 por aparelho podem ser repassados aos consumidores, ou absorvidos nas margens de lucro dos demais

atores da cadeia de suprimentos, de acordo com as condições futuras de mercado. Algumas origens possíveis seriam uma sobretaxa no preço dos produtos novos para cobrir os custos de logística, manufatura reversa e disposição dos rejeitos ou um subsídio cruzado com origem no setor energético, uma vez que a substituição de refrigeradores antigos por novos leva a uma redução no consumo de energia elétrica.

A discussão realizada, nesse artigo, quanto aos refrigeradores domésticos pode ser estendida para outros tipos de equipamentos que levam a impactos ambientais similares ao final de sua vida útil, tais como aparelhos de ar condicionado e câmaras frigoríficas. No caso dos aparelhos de ar condicionado, pela sua escala de produção e consumo, eles deveriam também ser incluídos nas políticas públicas relacionadas à manufatura reversa de equipamentos de refrigeração. De maneira semelhante, o mesmo tipo de informação será importante para subsidiar as discussões dos futuros acordos setoriais para a implantação da responsabilidade compartilhada e da logística reversa de outros tipos de produtos incluídos na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

REFERÊNCIAS

- Aizawa, H. Yoshida, H. Sakai, S. (2008). Current results and future perspectives for Japanese recycling of home electrical appliances. *Resources, Conservation and Recycling* 52, 1399–1410 doi:10.1016/j.resconrec.2008.07.013.
- Ambientebrasil (2008). *Até 2010, Brasil deverá eliminar totalmente uso de CFCs*. Recuperado em 31, outubro, 2008, de <http://noticias.ambientebrasil.com.br/noticia/>.
- Brasil. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Recuperado em 15, abril, 2011 de http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.
- Cardoso, R.B. Nogueira, L.A.H. Haddad, J. (2009) Economic feasibility for acquisition of efficient refrigerators in Brazil *Applied Energy* 87 (2010) 28–37 doi:10.1016/j.apenergy.2009.05.025.
- Cempre (2008). Preço do material reciclável. Recuperado em 10, maio, 2008, de http://www.cempre.org.br/serv_mercado.php.
- Cooper, T. (2005). Slower consumption. *Journal of Industrial Ecology*, 9, 51-67.
- Deng, J., Wen X., Zhao Y. (2008). Evaluating the treatment of E-waste -a case study of discarded refrigerators *J China Univ Mining & Technol* 18, 454–0458.
- Energy Trust of Oregon. Refrigerator and Freezer Recycling. Recuperado em 16 de abril de 2011, de: <<http://energytrust.org/residential/incentives/Appliances/RefrigeratorandFreezerRecycling>>.
- Folha de São Paulo (2009). Recuperado em 10 de maio 2009, de <http://www.folha.com.br>.
- Horie, Y.A. Report No. CSS04-13, August 2004. *Life cycle optimization of household refrigerator-freezer replacement*. Thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (Natural Resources and Environment) in the University of Michigan, EUA.
- Ibama (2004). Instrução Normativa nº 37. Recuperado em 10, maio, 2009 de <http://www.ibama.gov.br>. Brasil.
- Instituto Alemão para a Garantia da Qualidade e Certificação. *RAL-GZ 728: manufatura reversa de refrigeradores*, Luxemburgo.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010) Pesquisa Nacional por Amostragem de Domicílios. Síntese de Indicadores 2009. Rio de Janeiro: IBGE. Recuperado em 16 abril de 2011, de http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2009/pnad_sintese_2009.pdf.

Jannuzzi G.M. (2007). *Cost-benefit analysis of a refrigerator replacement program for low-income households in Brazil*. [Produced for review by the United States Agency for International Development.] Acesso em 14/6/2011.

Kim, H. C., Keoleian, G.A., Horie, Y.A. (2006) Optimal household refrigerator replacement policy for life cycle energy, greenhouse gas emissions, and cost *Energy Policy* 34 (2006) 2310–2323. Retrieved from Science Direct.

Leite, P. R. (2003). *Logística reversa: meio ambiente e competitividade*, São Paulo: Pearson Education Hall.

Liu, X., Tanaka, M. Matsui, Y (2009) Economic evaluation of optional recycling processes for waste electronic home appliances *Journal of Cleaner Production* 17 (2009) 53–60.

Lopes, R. C. (2008). Manufatura reversa de refrigeradores. Apresentado na *Conferência Anpei de Inovação Tecnológica*, 8 Belo Horizonte, MG, Brasil.

Melo, C. A., Januzzi, G.M. (abril 2008) O estoque de refrigeradores no Brasil: diferenças e semelhanças regionais e por faixa de renda. *Espaço Energia* n.

Neves, S. R. A. (2002). *Estudo da desmontagem de um refrigerador doméstico*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil.

Peixoto, R. A. (2009). Impacto ambiental de refrigeradores em sistemas de refrigeração. Recuperado em 10 de janeiro 2009, de <http://www.auditoriaambiental.com.br/artigos/20.pdf>.

Penev, Kiril D., DeRon (1994). Ad J Development of disassembly line for refrigerators. *Industrial Engineer*; 26, 11; 50.

Realff, M. J., Ammons, J. C., David, J., Newton, D.J. (2004). Robust reverse production system design for carpet recycling. *IIE Transactions*; 36, 8, 767-776.

Rodrigues, A. C. (2007). *Impactos socioambientais dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos: estudo da cadeia pós-consumo no Brasil*. Dissertação de Mestrado, Universidade Metodista de Piracicaba, São Paulo, Brasil.

Rousis K., Moustakas, K., Stylianou, K., Papadopoulos, M., A., Loizidou, M. (2008). Management of waste from electrical and electronic equipment: The case of television sets and refrigerators. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 7, 105-114.

Scartezini, W. (2011) Estratégias e experiências em políticas de resíduos eletrônicos. In: *ABINEE TEC 2011* [seminário realizado em São Paulo, em 01/04/2011]. Recuperado em 14 junho de 2011, de <<http://www.tec.abinee.org.br/2011>>

Viotto, D. (2009). Geladeiras velhas são recicladas em apenas 30 segundos. *Diário do Comércio*, pp: 8.

Widmer, R., Oswald-Krapf, H., Sinha-Khetriwal, D. Schnellmann, M., Böni, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 25, 436-458.

Data do recebimento do artigo: 28/04/2011

Data do aceite de publicação: 02/09/2011