

Minimização e reutilização de resíduos na etapa de preparação de chassi em uma indústria automobilística

Waste minimizing and reuse in the preparing of chassis step of bus production

Jóice Cagliari

Engenheira Ambiental, Universidade de Caxias do Sul,
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1133
Caxias do Sul, RS, Brasil CEP 95.070-560
jcagliar@hotmail.com

Claudia Echevenguá Teixeira

Profa. Dra. na Universidade de Caxias do Sul
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1133
Caxias do Sul, RS, Brasil CEP 95070-560
ceteixeira@ucs.br

Suzana Maria De Conto

Profa. Dra. na Universidade de Caxias do Sul
Rua Francisco Getúlio Vargas, 1133
Caxias do Sul, RS, Brasil CEP 95070-560
smcmande@ucs.br

Resumo

O processo de fabricação de ônibus compreende as seguintes etapas: recebimento do chassi, preparação do chassi, montagem da carroceria, pintura e acabamento. Muitos resíduos tanto sólidos quanto líquidos são gerados ao longo do processo. Este estudo visa identificar mecanismos de minimização e reutilização de resíduos sólidos na etapa de preparação de chassi. O estudo seguiu a "metodologia de produção mais limpa", do CNTL (Centro Nacional de Tecnologias Limpas). A retirada de componentes é responsável pela maior quantidade e diversidade de resíduos gerados na etapa de preparação dos chassis. Alguns componentes são reutilizados pela empresa, mas representa ainda uma quantidade pequena do montante gerado. Dentre os componentes com possibilidade de reutilização tem-se: arruelas, porcas, parafusos, óleo diesel e cinto de segurança. Já os materiais com possibilidade de minimização são os painéis secundários e as cadeiras de metal. A economia total relacionada às técnicas de reutilização e minimização dos componentes selecionados podem

Abstract

Bus manufacturing process comprises the following steps: chassis receiving, chassis preparing, body assembly, painting and finishing. Liquid and solid wastes are generated during the process. This study aims to identify mechanisms to minimize the generation of solid waste in the step of chassis preparation. The study followed the methodology of cleaner production by CNTL. Components withdrawal is responsible for the greatest variety and quantity of waste generated during chassis preparing step. Some components are used by the company, but it still represents a small amount of the total generated wastes. Among the components with the possibility of reuse are: washers, nuts, bolts, diesel oil and seatbelts. Panels and metal chairs wastes could be avoided. The total savings related to the techniques of reuse and minimization of the selected components may reach R\$ 152.892.90 during the period of one year (base year 2006).

alcançar R\$ 152.892,90 durante o período de um ano (ano base 2006).

Palavras-chave: produção mais limpa, reutilização de resíduos, indústria automobilística, resíduos sólidos industriais, prevenção da geração de resíduos sólidos. **Key words:** cleaner production, reuse of waste, automotive industry, industrial solid waste, solid waste prevention.

1. Introdução

Atualmente, as indústrias mais competitivas no mercado estão modificando a forma como tratam as questões relacionadas aos resíduos sólidos gerados por suas atividades. Aos poucos, as tecnologias conhecidas como “final de tubo” estão sendo substituídas por “tecnologias mais limpas”. A prioridade que antes era para o tratamento e a disposição dos resíduos gerados, sem interferência nos processos produtivos, passa a ser a redução da geração de resíduos na fonte geradora. Os mecanismos utilizados para tal são: alterações no processo produtivo, modificações no produto, substituição de insumos, redução do consumo de matérias-primas, reutilização interna de resíduos e a reciclagem externa. Inúmeros programas foram desenvolvidos e estão sendo implantados nos setores produtivos com o intuito de obter produções mais eficientes e produtos sustentáveis, que gerem menos impacto ao meio ambiente durante todo o seu ciclo de vida. Através da minimização de resíduos e da prevenção da poluição, Abou-Elela *et al.* (2007) eliminou o tratamento fim de tubo e reduziu o consumo de água, produtos e materiais utilizados em uma indústria química.

No que tange a legislação ambiental, cabe destacar que a prevenção aparece no Art. 1º do Decreto nº 38.356, de 01 de abril de 1998, que aprova o Regulamento da Lei nº 9.921, de 27 de julho de 1993, que dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos no Estado do Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 1998): “A gestão dos resíduos sólidos é responsabilidade de toda a sociedade e deverá ter como meta prioritária a sua não-geração, devendo o sistema de gerenciamento destes resíduos buscar sua minimização, reutilização, reciclagem, tratamento ou destinação adequada”.

Do ponto de vista socioambiental, a implantação de programas que visam à redução da geração de resíduos e a redução do consumo de matérias-primas, insumos e energia, colaboram para o melhoramento e a manutenção da qualidade do ambiente, através da redução dos impactos ambientais associados. A preocupação das indústrias com o meio ambiente e as restrições impostas pela legislação nacional, fazem com que os empreendedores invistam cada vez mais em questões ambientais como, por exemplo, mecanismos de tratamento e disposição final adequada para cada tipo de resíduo ou até mesmo em relação à não-geração desses resíduos. A *Organization for Economic Co-operation and Development – OECD* em 1997 definiu tecnologias limpas como qualquer medida técnica na indústria, para reduzir, ou até eliminar na fonte, a produção de qualquer incômodo, poluição ou resíduo, e ajudar na economia de matéria-prima, recursos naturais e energia. Elas podem ser introduzidas tanto em nível de projeto, com mudanças radicais no processo de manufatura, ou num processo existente, com a separação e utilização de produtos secundários que de outra maneira seriam perdidos (Baas, 1996).

Com relação ao conhecimento disponível sobre redução na geração de resíduos sólidos na fonte geradora destacam-se as contribuições de Fernandez e Schalch (2005), Capelini e Schalch (2002), De Conto *et al.* (2007), Veiga e Veiga (2005) e Moura *et al.* (2005). Fernandez e Schalch (2005) apresentam importantes contribuições relacionadas à prevenção no contexto da gestão municipal de resíduos sólidos domiciliares. Capelini e Schalch (2002) analisam a aplicação da prevenção de resíduos como critério para projeto de embalagens. Os autores comentam que vários fatores contribuem para a mudança de postura da indústria em relação às questões ambientais: aumento de grupos ambientalistas, consumidores mais informados e conscientes, legislação mais restritiva e pressões de concorrentes que, com a globalização dos mercados tendem a se internacionalizar (Capelini e Schalch, 2002).

De Conto *et al.* (2007) ao sistematizar o conhecimento disponibilizado no Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (período de 1960 a 2005) concluíram que trabalhos apresentados ainda estão centrados na abordagem corretiva e passiva, destacando-se o tratamento de resíduos sólidos com 36,59% e evidenciando a escassez de estudos focados na prevenção e minimização nas diferentes fontes geradoras (1,93% dos trabalhos). A partir dos resultados obtidos nesse estudo e conforme destacado por De Conto *et al.* (2005) é importante e necessário incentivar o desenvolvimento de novos saberes na área de resíduos sólidos, investindo na produção de conhecimento sobre a prevenção da geração desses resíduos em diferentes atividades.

Veiga e Veiga (2005) apresentam um importante estudo para o estado da arte do gerenciamento de resíduos sólidos industriais. O estudo versa sobre a simbiose industrial e como ela pode ser utilizada na redução dos resíduos sólidos provenientes dos setores industriais, das residências e demais atividades. De acordo com Veiga e Veiga (2005), a simbiose industrial vem sendo adotada em vários países como alternativa de solução para evitar a geração dos resíduos e como um instrumento de gestão ambiental para promoção do desenvolvimento sustentável, visto que busca integrar as atividades econômicas com o meio ambiente e com o bem estar da comunidade, resultando em benefícios econômicos, ambientais e sociais.

O Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais mostrou que o Rio Grande do Sul produziu no ano de 2002 cerca de 2.363.886 toneladas de resíduos industriais, correspondente as 1.707 indústrias inventariadas e aos dados das planilhas trimestrais de resíduos sólidos industriais, sendo que do montante, 92% correspondem aos resíduos sólidos classificados como Classe II e 8% como Classe I (Fepam, 2003).

O setor automotivo brasileiro é formado por 14 empresas montadoras de veículos que operam 24 unidades, sendo que a produção nacional de veículos automotores no ano de 2005, entre veículos leves e pesados, foi de 2.528.300 unidades (CNM, 2005). Com relação aos ônibus, a CNM (2005) apresenta dados de produção que alcançam um total 35.266 unidades no ano de 2005, sendo que agosto foi o mês de maior produção, alcançando de 3.582 veículos. A exportação nacional de ônibus corresponde 53,71% do total produzido (ANFAVEA, 2005).

O processo de fabricação de ônibus compreende as seguintes etapas: recebimento do chassi, preparação do chassi, montagem da carroceria, pintura e acabamento. Neste processo são gerados resíduos sólidos e líquidos, dentre estes perigosos e não perigosos. Como exemplo desses resíduos, pode-se citar: borras de tinta, resina, lodo de ETE, papel e plástico contaminado, resíduos de tinta pó, *thinner* sujo, acrílico,

algodão, couro, madeira, vidro, PET, papel, napa, isopor, fórmica, fibra, espuma, duratex, entre outros (Potrich *et al.* 2007).

Esse trabalho dedicou-se ao estudo da etapa de montagem de chassi de uma indústria automotiva, visando identificar oportunidades de minimização de resíduos sólidos. O estudo envolveu a identificação de entradas e saídas, quantificação mássica e energética, quantificação da geração de resíduos, levantamento das possibilidades de reutilização de componentes e identificar a destinação e/ou tratamento adequado para os resíduos. O estudo também permitiu avaliar a viabilidade ambiental, técnica e econômica da destinação desses resíduos. Este estudo possibilitou a introdução de conceitos da "hierarquia contemporânea" (primando pela não-geração) para o gerenciamento de resíduos sólidos na indústria automobilística.

2. Materiais e Métodos

A metodologia utilizada para desenvolvimento do trabalho foi baseada nos princípios da implementação do programa de produção mais limpa desenvolvido pelo Centro Nacional de Tecnologias Limpas – CNTL (CNTL, 2003). A metodologia de programas de produção mais limpa foi utilizada apenas para a realização do diagnóstico. O programa de produção mais limpa consiste basicamente no estudo do processo produtivo, bem como fluxos de massa e de energia, para posterior aplicação de métodos que interfiram no produto ou no processo, com objetivo de minimização da geração de resíduos e redução do consumo de matéria prima. Portanto, não houve implementação total da metodologia e sim parcial, como apresentada nos itens que seguem.

2.1 Estudo do fluxograma, fluxos de entradas e saídas e caracterização do processo produtivo

A coleta de informações no setor de desenvolvimento das atividades iniciou por meio do conhecimento e da elaboração do fluxograma do processo produtivo, o qual representou as atividades diariamente desenvolvidas pela empresa. O diagnóstico foi desenvolvido através do acompanhamento das atividades realizadas para preparação de chassis, e das normas operacionais do setor. Esta etapa teve como objetivo, conhecer o processo detalhado de preparação e uma base prévia dos fluxos de componentes, matéria-prima, insumos e geração de resíduos.

Posteriormente, os fluxos de entrada e saída de cada etapa do processo de preparação do chassi foram analisados, com o objetivo de elaborar um diagrama de blocos, facilitando assim a identificação de falhas e desperdícios no processo. As entradas foram caracterizadas pelos componentes utilizados, bem como insumos, matéria-prima e energia. As saídas, dizem respeito aos resíduos gerados, com foco principalmente nos resíduos sólidos. A caracterização foi realizada mediante acompanhamento do processo produtivo e preenchimento de planilhas de controle.

O estudo ficou delimitado na preparação de cinco modelos de chassi, sendo dois modelos para ônibus rodoviário e três para ônibus urbano.

2.2 Seleção da etapa crítica do processo produtivo

A partir da caracterização das entradas e saídas de todas as etapas do processo de preparação de chassi, foi realizada a seleção da etapa cujas saídas foram mais representativas, em termos de quantidade e variedade de resíduos. A etapa selecionada (etapa crítica do processo) foi analisada detalhadamente a partir de então.

2.3 Quantificação do consumo de matéria-prima e insumos

Após a elaboração do diagrama de blocos do processo produtivo e a seleção da etapa crítica, foram levantadas as quantidades de matéria-prima e insumos utilizados na etapa em questão. O levantamento dos dados foi realizado *in loco* através do acompanhamento do processo produtivo, e mediante preenchimento de planilhas de controle. Somente para alguns materiais utilizados em pequenas quantidades e de difícil quantificação foram obtidos através de dados de consumo mensal.

2.4 Quantificação e caracterização da geração de resíduos

A quantificação e caracterização da geração de resíduos ficaram restritas a etapa do processo que gerou a maior quantidade e diversidade de resíduos (etapa crítica) e foi realizada mediante acompanhamento *in loco*. Todos os resíduos gerados a partir desta etapa foram separados por tipologia de materiais e pesados, isso referente a cada modelo de chassi avaliado. Os valores obtidos nas pesagens foram registrados em planilhas de controle. Os componentes originais retirados dos chassis não foram pesados, apenas quantificados por unidade e registrado nas planilhas de controle.

Paralelamente, foram identificadas as causas da geração dos resíduos, também através do acompanhamento *in loco*. A identificação foi realizada durante todo o período de coleta de dados, para a formação de uma visão crítica dos procedimentos utilizados pelos colaboradores do setor. Esta análise detalhada do procedimento tem o objetivo de identificar possíveis mudanças no processo produtivo que resultem na redução ou eliminação desses resíduos gerados.

2.5 Destinação dos resíduos

A partir da identificação dos resíduos gerados na etapa em questão, foi investigado o destino de cada resíduo. Essa investigação foi realizada mediante dados disponíveis na Central de Reaproveitamento, no Setor de Meio Ambiente e no Setor de Preparação de Chassi. Essas informações serviram de base para a busca de novas alternativas.

2.6 Seleção do foco de atuação

A seleção do foco de estudo tem o objetivo de priorizar as ações relacionadas à geração crítica dos resíduos. As características consideradas para a seleção desses focos foram: a quantidade gerada e o custo total relacionado; as condições estruturais dos resíduos e/ou componentes; a possibilidade de sua reutilização sem retrabalhos e a possibilidade de seu retorno para a montadora.

2.7 Identificação das alternativas de minimização e reutilização dos resíduos e estudos de viabilidade

A partir das informações descritas no item acima foi possível identificar soluções para os resíduos selecionados. Incluem-se nessas soluções, a minimização da geração de resíduos, a reutilização interna dos resíduos gerados e a reutilização externa. Em um primeiro momento, foi identificada e estudada a possível minimização dos resíduos na fonte. Após, foi realizada análise para a reutilização desses resíduos na própria linha de montagem, em outras etapas da produção de ônibus. Essa identificação foi realizada em conjunto aos diversos ramos da engenharia. Para os resíduos em que nenhuma dessas opções foi possível, foi estudado então o seu melhor destino. As alternativas mencionadas anteriormente estão relacionadas aos níveis de opções de produção mais limpa, sendo que as ações do Nível 1 são prioritárias às ações do Nível 2 e Nível 3 respectivamente. O Nível 1 corresponde à redução dos resíduos na fonte, o Nível 2 a reciclagem interna e o Nível 3 a reciclagem externa.

Após a identificação de possíveis alternativas foi realizado um estudo de viabilidade técnica e econômica conjuntamente com os setores de engenharia da empresa. A viabilidade técnica considera alguns aspectos, como garantia da qualidade e compatibilidade do produto, fluxo de trabalho, taxas de produção, área disponível, compatibilidade das operações, entre outros. A viabilidade econômica foi avaliada através da relação entre economias e despesas relacionadas às soluções mais adequadas. Com relação à viabilidade ambiental, as considerações realizadas foram fundamentadas no princípio da não-transferência do poluente de um meio para o outro, da redução da geração de resíduos sólidos e do atendimento à legislação vigente.

3. Resultados e Discussão

3.1 Estudo do fluxograma, fluxos de entradas e saídas e caracterização do processo produtivo

O processo de fabricação de ônibus compreende as seguintes etapas: recebimento do chassi, preparação do chassi, montagem da carroceria, pintura e acabamento. A etapa de preparação do chassi é dividida em sub-etapas: instalação de sistemas de aquecimento, retirada de componentes, modificação do chassi, montagem e fixação das rodas, acabamento final e pintura. A taxa diária de preparação de chassi analisada foi de 60% para veículos urbanos e 40% para veículos rodoviários. O Quadro 1 apresenta as principais etapas da preparação do chassi, com a identificação qualitativa das entradas e das saídas de cada etapa do processo.

Através da análise do Quadro 1 percebe-se que a etapa de retirada de componentes é a que gera a maior diversidade de resíduos, entre eles materiais plásticos, metálicos, nylon e componentes automotivos. Por apresentar a maior quantidade e diversidade de resíduos, a etapa de retirada de materiais do processo de preparação de chassis, foi selecionada como foco do estudo (etapa crítica da preparação do chassi).

ENTRADAS	ETAPA DO PROCESSO	SAÍDAS
<i>Matéria-Prima:</i> chassi <i>Insumos:</i> energia, mão-de-obra, kit ar condicionado (compressor, base, parafusos) e mangueira.	Instalação de Sistemas de Aquecimento	<i>Produto:</i> chassi <i>Resíduos:</i> caixas de madeira, parafusos, pedaços de metal e mangueira do radiador.
<i>Matéria-Prima:</i> chassi <i>Insumos:</i> energia, mão-de-obra, fita crepe, fita anti-chama, cinta de nylon e fio de nylon.	Retirada de Componentes	<i>Produto:</i> chassi e peças originais <i>Resíduos:</i> arruelas, cabo de bateria, parafuso/porca, braçadeiras, separador de fios, estruturas de metal, embalagens plásticas, resíduos de cinta nylon, caixas e estruturas de madeira, tubos de PVC, resíduos de varredura, panos sujos, líquido do tanque de expansão, óleo de embreagem, óleo hidráulico, óleo do filtro racor e óleo diesel, farol, pisca, espelho, cinto de segurança, vidro do pára-brisa, limpador de pára-brisa, motor do limpador de pára-brisa, tapa-sol, proteção plástica dos cabos da bateria, chicote elétrico, capas plásticas de proteção, fios de nylon, painel plástico secundário, sinalizador traseiro, suporte tanque de combustível, tanque de combustível, galão de 20 litros e cadeira de metal.
<i>Matéria-Prima:</i> chassi <i>Insumos:</i> mão-de-obra, couro, fita crepe, fita anti-chama, cinta de nylon, fios de nylon, lâminas de fibra de vidro e sacos plásticos.	Isolamento de Componentes	<i>Produto:</i> chassi <i>Resíduos:</i> pedaços de couro, resíduos de cintas e fios de nylon.
<i>Matéria-Prima:</i> chassi, peças metálicas. <i>Insumos:</i> mão-de-obra, energia, arame de solda e anti-respingo.	Modificação do Chassi	<i>Produto:</i> chassi <i>Resíduos:</i> emissões gasosas, varreduras, sobra de processos, carretel plástico, caixas de papel e latas.
<i>Matéria-Prima:</i> chassi <i>Insumos:</i> energia, mão-de-obra, material térmico/anti-ruído, massa de vedação, fita crepe, fita anti-chama, esmeril, primer, tinta, marcador de torque, disco de esmeril, escova de aço e cinta plástica.	Acabamento final e pintura	<i>Produto:</i> chassi <i>Resíduos:</i> fita crepe, retalhos de manta térmica e anti-ruído, disco de esmeril, escova de aço, emissões gasosas, latas, embalagens plásticas e resíduos de varredura.

Quadro 1: Fluxos de entrada e saída das sub-etapas da preparação de chassi.

3.2 Quantificação do consumo de matéria-prima e insumo

A matéria-prima da etapa de retirada de componentes no setor de preparação dos chassis é o próprio chassi. Os insumos utilizados no processo são: cintas de nylon, fita crepe e fita anti-chama. Os insumos utilizados na etapa de retirada de componentes não geram resíduos nesta mesma etapa, eles permanecem no chassi até o acoplamento da carroceria. A quantidade estimada de utilização destes insumos é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Consumo de insumos na etapa de retirada de componentes.

INSUMO	UNIDADE DE MEDIDA	CONSUMO ANUAL
Cintas de nylon	Unidade	72.720
Fita crepe	m	6.000
Fita anti-chamas	m	5.460

Pode-se perceber que a etapa de retirada de componentes é caracterizada pela retirada e desmontagem de algumas peças originais e outras estruturas. Os insumos utilizados são poucos, em pequena quantidade, e caracterizam-se por serem de baixo valor econômico.

3.3 Quantificação, caracterização e destinação dos resíduos gerados

Os resíduos gerados na etapa crítica, etapa de retirada de materiais foram quantificados (Tabela 2) e a sua destinação identificada (Quadro 2).

Através da análise dos dados apresentados na Tabela 2 e no Quadro 2, percebe-se a grande quantidade de resíduos gerados, entre eles materiais plásticos, metais, madeira, tecidos, componentes elétricos e mecânicos. Alguns componentes que saem do processo como resíduos, são essenciais aos chassis que chegam as montadoras rodando, como é o caso dos faróis, sinaleiras, tapa-sol, pára-brisa, o conjunto de limpador de pára-brisa e espelhos. Dos cinco modelos avaliados apenas um apresenta todos esses componentes.

No período do estudo, a maior parte da frota transportada à empresa era realizada sobre carreta, ao contrário dos anos anteriores, em que os chassis eram transportados rodando. Segundo as montadoras que fabricam os chassis, essa medida foi tomada mediante critérios de segurança e qualidade. Portanto, a previsão em curto prazo é de que todos os chassis cheguem à encarroçadora através de caminhões transportadores, eliminando com isso a geração dos resíduos gerados na etapa de retirada de componentes, citados acima.

As taxas de reaproveitamento interno de resíduos são baixas para alguns componentes, como é o caso das arruelas, porcas e parafusos, que são respectivamente 27, 8 e 8%. O reaproveitamento das poltronas é realizado de forma irregular pois são reutilizadas nas poltronas dos cobradores (ônibus urbano) e este uso depende da demanda que varia mensalmente. O reaproveitamento é total para o líquido do tanque de expansão, cabos de bateria, separadores de fios e braçadeiras.

Tabela 2. Quantificação da geração de resíduos na etapa de retirada de componentes.

RESÍDUOS	UNIDADE DE MEDIDA	QUANTIDADE NO PERÍODO ABR./MAI.	QUANTIDADE ANUAL
1 Arruelas	unidade	6.703	59.535
2 Braçadeiras	unidade	621	7.455
3 Cabos de bateria	unidade	253	3.036
4 Cadeiras de metal	unidade	33	390
5 Capas plásticas de proteção	unidade	1.671	20.055
6 Cinto de segurança	unidade	323	3.870
7 Cinto do amortecedor	unidade	178	2.130
8 Chicote elétrico (parte)	unidade	29	345
9 Espelho	unidade	58	690
10 Farol dianteiro	unidade	58	690
11 Galão plástico 20L	unidade	121	1.455
12 Limpador de pára-brisa	unidade	29	345
13 Motor do limpador de pára-brisa	unidade	29	345
14 Painel secundário	unidade	205	2.460
15 Parafusos/porca	unidade	16.886	202.635
16 Pisca dianteiro/ traseiro	unidade	115	1.380
17 Proteção plástica dos cabos da bateria	unidade	1.420	17.040
18 Separadores de fios	unidade	3.916	46.995
19 Sinalizador traseiro	unidade	58	690
20 Suporte do tanque de combustível	unidade	205	2.460
21 Proteção fibra de vidro do motor	unidade	29	345
22 Tanque de combustível (300 e 275 L)	unidade	16	195
23 Tapa-sol	unidade	29	345
24 Tubos de PVC	unidade	293	3.510
25 Vidro do pára-brisa	unidade	29	345
26 Poltrona	unidade	205	2460
27 Líquido do tanque de expansão	L	3.857,5	46.290
28 Líquido da embreagem	L	53,3	639,0
29 Líquido do filtro racor	L	335,8	4.029,8
30 Óleo combustível	L	6.753,1	81.037,5
31 Óleo hidráulico	L	348,4	4.180,5
32 Panos sujos	kg	7,8	93,7
33 Papel (contaminado e não-contaminado)	kg	4,7	56,4
34 Plásticos em geral	kg	141,7	1.700,0
35 Caixas e estruturas de madeira	kg	4.984,3	59.811,3
36 Resíduos metálicos	kg	20.445,0	245.339,7
37 Varredura e pó de varrição	kg	103,2	1.238,8
38 Resíduos de cinta nylon	kg	126,3	1.515,6
39 Resíduos de fios de nylon	kg	34,7	416,8
40 Resíduos de fita plástica verde	kg	4,0	48,0

RESÍDUOS	MANEJO/PROCESSAMENTO/TRATAMENTO/D ESTINO ATUAL
Cinto do amortecedor, cinto de segurança, chicote elétrico (parte), farol dianteiro, limpador de pára-brisa, motor do limpador de pára-brisa, pisca dianteiro/traseiro, suporte do tanque de combustível, proteção de fibra de vidro do motor, tanque de combustível, resíduos metálicos, sinalizador traseiro, líquido do filtro racor, líquido da embreagem e óleo hidráulico.	Segregado, armazenado e comercializado.
Capas plásticas de proteção, resíduos de cinta nylon, resíduos de fios de nylon, resíduos de fita plástica verde, painel secundário, papel (contaminado e não-contaminado), plásticos em geral, proteção plástica dos cabos da bateria, tubos de PVC, varredura e pó de varrição, vidro do pára-brisa, caixas e estruturas de madeira.	Segregado, processado, armazenado e comercializado.
Espelho, tapa-sol e cadeiras de metal.	Armazenado de forma provisória no setor que é gerado.
Óleo combustível e galão plástico 20L	Armazenado e reaproveitado internamente.
Panos sujos e proteção de fibra de vidro do motor	Armazenado e retorna ao fornecedor
Parafusos e porcas, poltronas, arruelas, líquido do tanque de expansão, cabos de bateria, separadores de fios e braçadeiras.	Segregado e reaproveitado internamente.

Quadro 2: Destinação dos resíduos gerados na etapa de retirada de componentes.

3.4 Seleção do foco de atuação

Em consideração aos critérios apresentados na metodologia de coleta de dados, os resíduos selecionados foram: arruelas, cadeiras de metal, cintos de segurança, líquido da embreagem, óleo diesel, painel secundário e parafusos. A origem desses resíduos está sintetizada no Quadro 3.

Através da análise do Quadro 3 pode-se perceber que todos os resíduos selecionados tem sua origem relacionada às instruções de trabalho e cada qual é função do projeto solicitado pelo cliente. Portanto, pode-se dizer que esses resíduos não são gerados devido a má ou deficiente operação.

RESÍDUOS	ORIGEM DOS RESÍDUOS	CAUSAS TÍPICAS
Arruelas e parafusos	Retirada de estruturas do chassi, retirada de peças originais e outros componentes.	Acoplamento da carroceria do ônibus.
Cadeira de metal	Substituição pela poltrona definitiva do motorista, em outra etapa do processo produtivo.	Cadeira é colocada pela montadora provisoriamente.
Cinto de segurança	Acoplado a poltrona provisória do motorista.	Cinto provisório.
Líquido da embreagem	Esgotamento para a retirada do caneco da embreagem.	Motivos de segurança.
Óleo diesel	Esgotamento do tanque para remoção do tanque de combustível. Esgotamento do filtro racor.	Motivos de segurança.
Painel secundário	Retirada do painel para acoplamento da carroceria e instalação da cabine.	Acoplamento da carroceria do ônibus.

Quadro 3: Origem dos resíduos, causas típicas e fatores que influenciam na geração dos resíduos.

3.5 Identificação das alternativas de minimização e reutilização dos resíduos e estudos de viabilidade

As alternativas propostas para os resíduos tem o objetivo de reutilizá-los na etapa de retirada de materiais ou em outras etapas do processo, uma vez que é muito difícil a sua eliminação. Em alguns casos a solução é tentar viabilizar o retorno do componente (resíduo) à montadora do chassi. Em comparação aos níveis de produção mais limpa, a maioria das alternativas fazem parte dos níveis 2 e 3, relacionadas à reciclagem interna e reciclagem externa respectivamente. Em alguns casos uma alternativa é complementar a outras, como por exemplo às práticas de boa operação (*house keeping*), que podem estar associadas a outras opções de minimização de resíduos.

- Reaproveitamento de arruelas, porcas e parafusos

Através da quantificação e classificação dos parafusos e arruelas pode-se selecionar os modelos mais gerados no processo de retirada de componentes do setor de preparação de chassi. Dentre doze modelos de componentes, optou-se pela avaliação dos que possuem maior geração, cujos modelos são utilizados no setor de preparação do chassi.

A reutilização dos componentes que são gerados em maior quantidade possui uma relevância econômica e ambiental para a empresa. A importância ambiental está no fato de que a empresa deixa de descartar, ou comercializar um material que possui um valor econômico agregado, ou seja, que ainda exerce a sua finalidade com características iguais às originais. Do ponto de vista econômico, a empresa deixa de investir na compra de uma quantidade determinada de componentes periodicamente. A análise é realizada através da relação entre custo e quantidade gerada.

O reaproveitamento é mais vantajoso economicamente em relação à venda para reciclagem. O benefício mensal obtido com a reutilização de parafusos e arruelas no setor de preparação de chassi é de 83,02 reais mensais. Transferindo este valor para a escala anual temos uma economia de R\$ 996,24 na compra de parafusos e arruelas para o setor de preparação de chassi. A economia gerada não é muito

significativa, porém se analisada a possibilidade de reutilização dos demais componentes gerados, em outros setores da linha de produção, a economia gerada poderia custear o salário de um funcionário com a função de selecionar e classificar os componentes. No total são 38 componentes gerados (entre parafusos e arruelas) totalizando entorno de 13 mil unidades geradas mensalmente.

A comercialização desses componentes não apresenta vantagens em relação à reutilização dos mesmos. No primeiro caso, o ganho econômico é menos representativo, ambientalmente a empresa transfere de um local para outro os seus resíduos, mesmo no caso de serem reutilizados em outras empresas. Com relação aos níveis de P+L, a comercialização é classificada como Nível 3 (reciclagem externa), último nível de tecnologia mais limpa, deve ser implantada somente após constatação de que a redução na fonte e a reciclagem interna não são possíveis.

- Reaproveitamento de óleo diesel

A reutilização do óleo diesel é possível mediante melhorias no processo de retirada e armazenamento do mesmo. Torna-se necessária à aquisição dos equipamentos específicos para armazenamento do óleo diesel, para posterior reutilização na empresa. Além do óleo diesel do tanque de combustível, há o óleo diesel do filtro racor, denominado também de líquido do filtro racor. Portanto, esses podem ser armazenados juntamente para reaproveitamento posterior.

A economia mensal obtida com a reutilização óleo diesel é de 10.420,54 reais mensais. Transferindo este valor para a escala anual há uma economia de R\$ 125.046,48 na compra óleo diesel para utilização na frota interna de veículos. Vale ressaltar que a quantidade de óleo diesel no tanque de combustível certamente terá uma redução de volume, pois no período de coleta dos dados os chassis eram transportados rodando e atualmente são transportados por carretas. O custo de implantação do processo de reutilização do óleo diesel não foi analisado.

- Reaproveitamento de cintos de segurança

A reutilização dos cintos de segurança no processo produtivo, independentemente de ser parcial ou total, requer melhorias no processo de retirada dos mesmos para manter a qualidade original do componente. A reutilização dos cintos de segurança possui um elevado desempenho ambiental, uma vez que esta ação evita a geração deste resíduo no setor em questão. Representa o Nível 2, dentre os níveis de tecnologia do P+L. Neste caso, este resíduo não pode ser eliminado na fonte, pois todos os chassis devem ter cinto de segurança na poltrona provisória do motorista, tornando impossível às ações compatíveis ao Nível 1.

As vantagens ambientais da reutilização sobre a comercialização estão relacionadas à questão da não transferência de resíduos e ao aproveitamento total dos materiais. A reutilização dos cintos de segurança reduz a necessidade de extração e/ou produção de matérias primas para a fabricação de cintos de segurança. Reduz também o volume de resíduos gerados no setor, e as preocupações com o seu destino, uma vez que a empresa é responsável pelo tratamento e destinação dos seus resíduos.

Testes foram realizados para reutilização dos cintos de segurança como instrumento de fixação do pneu estepe de um modelo específico de ônibus. Os cintos de segurança foram testados em substituição aos cintos de segurança novos utilizados anteriormente. Os resultados foram satisfatórios, visto que as características dos cintos de segurança reutilizados são muito semelhantes aos utilizados originalmente, não requerendo com isso nenhum tipo de ajustes. Não há a necessidade de nenhum tipo de investimentos para manter a reutilização desses cintos. O consumo mensal de cintos de segurança é de 60 conjuntos. Esta reutilização corresponde a 19% do total de cintos gerados no setor de preparação dos chassis.

Devido à incompatibilidade dos encaixes, o conjunto do cinto não pode ser reutilizado nas poltronas dos carros. Neste caso há a viabilidade de reutilizar as duas partes do cinto de segurança para finalidades diferentes, uma vez que as mesmas são compradas também separadamente. A parte do cinto de segurança que sobra desse processo de reutilização (o encaixe) deve sofrer uma separação, por tipologia de material e ser destinadas à Unidade de Processamento de Resíduos da empresa. Os resíduos gerados com a reutilização de 263 cintos de segurança corresponde a 7,10kg de ABS, 7,90kg de cinta de nylon preta e 36,8kg de aço galvanizado.

A economia total obtida pela empresa com a reutilização de todos os cintos de segurança gerados no setor de preparação de chassi é de aproximadamente R\$ 21.637,44 anuais. Anterior a reutilização dos cintos de segurança, a geração desses resíduos variava entorno de 137,3 kg mensais, entre cinta de nylon, metal e ABS (terceiros). Com a reutilização dos materiais descritos acima, a geração de resíduos reduz para 51,8kg (recicladores), ou seja, redução mensal da geração de resíduos é entorno de 62,3%.

- Minimização de painéis secundários

O painel secundário é um componente que faz parte dos diferentes modelos de chassi de uma única montadora. Sua função é dar suporte a duas teclas que fazem parte do painel do chassi (chave farol e alerta) durante o transporte do chassi da montadora até a encarroçadora. Posterior a isso, o painel é descartado, pois já cumpriu a sua finalidade.

A matéria prima do painel secundário é o plástico Acilonitrila Butadienol Estirol – ABS, bastante utilizado para auto-peças, eletrodomésticos, construção, refrigeração, telefonia, entre outros. Os plásticos, produtos derivados do petróleo, possuem boas características, como alta resistência, leveza, facilidade de moldagem, mas em contrapartida são materiais com baixo nível de biodegradabilidade. Portanto, uma das alternativas para os resíduos de ABS gerados é a reciclagem.

Do ponto de vista ambiental, a reutilização desses materiais em outros chassis pela montadora é a melhor alternativa para evitar o descarte dos mesmos, uma vez que indiretamente reduz a demanda por produtos derivados de petróleo. Uma outra opção seria a substituição deste painel, pela montadora, por uma estrutura menor e mais simples, o que também reduziria a demanda por derivados de petróleo. Nestes dois casos, a empresa não terá benefícios econômicos diretos, apenas indiretos, através da eliminação de custos com transporte e processamento deste material no caso da reciclagem.

O ganho anual com a reciclagem chega a 469,8 reais, o que não cobre os gastos da empresa com mão-de-obra e energia para triturar o material. Unindo as questões ambientais e econômicas, a melhor

opção é a negociação com a montadora, uma vez que os custos com transporte seriam a cargo da mesma e que o retorno financeiro com a venda de sucatas plásticas é pouco.

- Minimização de cadeiras de metal

As cadeiras de metal que chegam junto ao chassi não são passíveis de reutilização dentro do processo produtivo e da empresa como um todo. Neste caso, as opções de minimização da geração de resíduos são: retornar a montadora para compor novos chassis, a viabilidade de o chassi vir sem cadeira ou a comercialização das cadeiras após o descarte.

As vantagens econômicas para a empresa são pequenas, pois não haverá retorno financeiro direto através dessas ações, somente no caso da comercialização. Nesses casos, as preocupações e gastos com o destino/tratamento desses resíduos são minimizados. Os benefícios ambientais relacionadas às opções de retorno à montadora e do chassi vir sem cadeira, estão diretamente ligados à redução da geração de resíduos sólidos no processo produtivo, e com isso à redução das taxas de resíduos gerados por unidade de produto.

4. Conclusão

O trabalho evidenciou que a etapa crítica de geração de resíduos do processo de preparação de chassi para produção de ônibus é a etapa de retirada de componentes. Dentre os componentes com possibilidade de reutilização são: arruelas, porcas, parafusos, óleo diesel e cinto de segurança. Já os materiais com possibilidade de minimização são os painéis secundários e as cadeiras de metal. A economia total relacionada às técnicas de reaproveitamento e minimização dos componentes selecionados podem alcançar R\$ 152.892,90 durante o período de um ano.

A reutilização e a minimização de resíduos no processo produtivo em questão é viável, do ponto de vista técnico, econômico e ambiental. Mesmo assim, pode-se aprofundar mais os estudos de reutilização e minimização de resíduos através da sensibilização dos funcionários dos setores envolvidos da divulgação do trabalho e dos seus benefícios ambientais e econômicos.

Nessa direção, é possível concluir que lidar com resíduos sólidos exige um esforço integrado e multiprofissional. Diferentes pesquisas que vem sendo desenvolvidas em diferentes instituições do país podem contribuir na minimização dos problemas e dificuldades enfrentadas pela indústria. É preciso, no entanto, desenvolver novos estudos voltados à prevenção da geração de resíduos industriais, no sentido de melhor construir as relações entre as diferentes etapas do gerenciamento integrado desses resíduos e o sistema de gestão ambiental empresarial. Cabe destacar que a universidade pode e deve contribuir no preenchimento dessa lacuna. Para tal, os órgãos financiadores de projetos de pesquisa, como o setor industrial, têm um papel fundamental no que tange a definição de políticas e de diretrizes voltadas a aumentar o incentivo na produção de conhecimento sobre a prevenção de resíduos sólidos industriais.

5. Agradecimentos

À engenheira Eliana Paula Zanol de Oliveira pela viabilização do trabalho junto a empresa Marcopolo S.A. e à Prof^ª. Cláudia Echevengúá Teixeira, pela orientação do estágio supervisionado, à Prof^ª. Suzana Maria de Conto (coordenadora do estágio em Engenharia Ambiental da Universidade de Caxias do Sul) pelo apoio.

Referências

- ABOU-ELELA, S.I.; HALEEMB, H.A.; ABOU-TALEBA, E.; IBRAHIM, H.S. 2007. Application of cleaner production technology in chemical industry: near zero emission. *Journal of Cleaner Production*, **15**:1852-1858.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – ANFAVEA. 2005. Dados estatísticos 2005. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas2005/tabelas.htm>>. Acesso em: 05/06/2006.
- BAAS, L. 1996. An Integrated Approach to cleaner production. In: K.B. MISRA (ed.), *Clean Production, Environmental and economic perspectives*. 1ª ed., Berlin, Springer, p. 211-226.
- CAPELINI, M.; SCHALCH, V. 2002. Aplicação da prevenção de resíduos como critério para projeto de embalagens: diagnóstico da situação das indústrias nacionais. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2002. *Anais...* Vitória, ABES, 2002. 1 CD-ROM.
- CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS (CNTL) SENAI-RS. 2003. *Implementação de programas de produção mais limpa*. Porto Alegre, 2003. 1 CD – ROM.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS METALURGICOS – CNM. 2005. *Perfil do setor automotivo*. Disponível em: <<http://www.cnmcut.org.br/verCont.asp?id=143>>. Acesso em: 05/06/2006.
- DE CONTO, S.M.; BELLADONA, R.; DELLA GIUSTINA, S.V. 2005. Resíduos sólidos como objeto de estudo: o 22º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental. In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, ABES, 2005. 1 CD-ROM.
- DE CONTO, S.M.; PISTORELLO, J.; GIMENEZ, J.R.; CAMPOS, A.C.A. 2007. Resíduos sólidos como objeto de estudo nos Congressos Brasileiros de Engenharia Sanitária e Ambiental: 1960-2005. In: XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte, ABES, 2007. 1 CD-ROM.
- FERNANDEZ, J.A.B.; SCHALCH, V. 2005. Prevenção à poluição no contexto da gestão municipal de resíduos sólidos domiciliares. In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, ABES, 2005. 1 CD-ROM.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL – FEPAM. 2003. *Inventário nacional de resíduos sólidos industriais*. Porto Alegre. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/rsi.asp>>. Acesso em: 06/05/2006.

- MOURA, T.N.; JERÔNIMO, C.H.M. ; SANTIAGO JUNIOR, A.F. ; CORTEZ, S.M. 2005. Intervenção da produção mais limpa nas indústrias têxteis do município de Jardim de Piranhas. In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, ABES, 2005. 1 CD-ROM.
- POTRICH, A.L.; TEIXEIRA, C.E.; FINOTTI, A.R. 2007. Avaliação de impactos ambientais como ferramenta de gestão ambiental aplicada aos resíduos sólidos do setor de pintura de uma indústria automotiva. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, **3**(3):165-175.
- RIO GRANDE DO SUL. 1998. Decreto nº 38.356, de 01 de abril de 1998. Aprova o Regulamento da Lei nº 9.921, de 27 de julho de 1993, que dispõe sobre a gestão dos resíduos sólidos no Estado do Rio Grande do Sul. *Secretaria Estadual do Meio Ambiente - Legislação*. Porto Alegre, RS, 1998. Disponível em: http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/dec_38356.htm. Acesso em: 23/12/2004.
- VEIGA, L.B.E.; VEIGA, M.M. 2005. A simbiose industrial na redução dos resíduos sólidos. In: XXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande. *Anais...* Campo Grande, ABES, 2005. 1 CD-ROM.

Submissão: 12/08/2008
Aceite: 18/11/2008