

# PRODUÇÃO MAIS LIMPA APLICADA AO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PEÇAS EM COMPÓSITOS DE RESINA POLIÉSTER INSATURADO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO

*Renato Jean Sevald<sup>1</sup>  
Noeli Sellin<sup>2</sup>*

**Resumo:** Neste trabalho, a gestão dos resíduos sólidos classe II, classificados conforme ABNT NBR 10.004, foi realizada a partir de diagnóstico aplicado nos processos produtivos de moldagem por injeção de resina (RTM - Resin Transfer Molding) e moldagem por compressão (SMC - Sheet Molding Compound) empregados na fabricação de peças em compósitos formados por resina poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro, aplicando ações de produção mais limpa, priorizando a redução na fonte, e posteriormente reutilização e recuperação. O diagnóstico consistiu no levantamento dos resíduos, quantificação e identificação da área geradora, antes e depois da aplicação da gestão dos resíduos. Com as ações tomadas, observou-se redução de 67,3 Kg de resíduos sólidos classe II por tonelada de produtos produzidos, representando uma redução de 24,81 %. Em valores absolutos, no período analisado, obteve-se uma minimização de 22.079,64 Kg, o que representou uma economia de mais de R\$ 2.800,00 por mês, somente com destinação final dos resíduos para aterro industrial. Com as medidas adotadas e com as propostas de minimização, ao longo de um ano, a receita obtida seria de mais de R\$ 55.000,00.

**Palavras-chave:** Produção mais limpa, resíduos sólidos, compósitos, resina poliéster insaturado/fibra de vidro.

**Abstract:** In this work, the management of class II solid waste, classified according ABNT NBR10.004, was performed from diagnosis applied in the processes of Resin Transfer Molding (RTM) and Sheet Moulding Compound (SMC) used in the manufacture of composite parts formed from unsaturated polyester resin reinforced with glass fibre, applying cleaner production activities, giving priority to source reduction, reuse and recovery. The diagnosis in the survey consisted of waste quantification and identification of the generating area before and after application of waste management. With the actions taken, there was a reduction of 67.3 kg of class II solid waste per ton of products produced, representing a reduction of 24.81%. In absolute terms during the period analyzed, a minimization of 22,079.64 kg was obtained, representing a savings of more than R\$ 2,800.00 per month with only the final disposal of waste to landfills. With the measures taken and the proposals to minimize, over a year, that revenue would be more than R\$ 55,000.00.

**Keywords:** Cleaner production, solid waste, composites, unsaturated polyester resin/glass fibre.

---

<sup>1 e 2</sup> Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Rua Paulo Malschitzki, nº. 10, Campus Universitário, Zona Industrial, CEP 89219 710, Joinville – SC, Brasil. E-mails: 1rsevald@hotmail.com; 2nsellin@yahoo.com.br

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente utilização de compósitos de resina poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro no ramo da engenharia e na produção de bens de consumo oferece uma combinação sem igual de propriedades além de inúmeras vantagens econômicas em relação aos demais materiais de interesse comercial.

Os principais processos de fabricação desses compósitos são: moldagem por contato; laminação contínua; moldagem por injeção de resina (RTM - Resin Transfer Molding), moldagem por compressão (SMC - Sheet Molding Compound ou BMC - Bulk Molding Compound) e pultrusão (Risson *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2002). Todos esses métodos partem do princípio básico de processamento, no qual a resina termofixa é dissolvida num solvente apropriado, o qual faz a impregnação das fibras de reforço. A cura é realizada tanto à temperatura ambiente como em prensas ou moldes pré-aquecidos.

Na fabricação de peças a partir destes compósitos pelos processos citados anteriormente, é gerada uma quantidade elevada de rejeitos ou sobras, os quais apresentam cada vez mais problemas relacionados à sua disposição, por várias razões, tais como: áreas adequadas para destinação cada vez mais raras, grande diferença entre o tempo médio de decomposição e entre os tipos diferentes de resíduos, e a toxicidade ou agressividade ambiental dos produtos de decomposição gerados (Pinto, 2002).

Devido ao fato dos termofixos serem irreversivelmente endurecidos pelo processo de cura, as técnicas de reciclagem destes materiais são mais limitadas, comparadas aos materiais termoplásticos. Elas incluem a incorporação de material moído em sistemas termoplásticos ou termofixos, recuperação da matéria-prima via hidrólise ou glicólise, recuperação de substâncias químicas via pirólise ou recuperação de energia (calor) por incineração (Pedroso, 2002; Pinto, 2002; Risson *et al.*, 1998). Embora a reciclagem desses materiais represente uma alternativa efetiva de redução de

custo no que se refere ao tratamento e à disposição de resíduos, o emprego desses métodos de reciclagem ainda é limitado devido, principalmente, ao elevado custo das tecnologias envolvidas. Neste sentido, conforme apresentado em estudos realizados por Solyon (2009), Wiemes (2003) e Oliveira Filho (2001), os quais aplicaram ações de P+L em empresa de tintas e impressão de papéis decorativos, em processos de pintura da indústria automotiva e em indústria metalúrgica do setor de transformação de alumínio, respectivamente, a eliminação e a minimização dos resíduos na fonte tornam-se opções preferenciais dentro de ações de Produção mais Limpa (P+L) para o gerenciamento de resíduos nas empresas. Os autores mostraram os benefícios potenciais da prevenção da poluição pelas práticas de minimização de resíduos, incluindo a redução de impactos ambientais adversos, melhoria de eficiência e, como consequência, a redução de custos.

Na Figura 1 são apresentadas as várias estratégias utilizadas visando a P+L e a minimização de resíduos. Baseado na figura, a prioridade da Produção mais Limpa está no topo (à esquerda) do fluxograma: evitar a geração de resíduos e emissões (nível 1). Os resíduos que não podem ser evitados devem, preferencialmente, ser reintegrados ao processo de produção da empresa (nível 2). Na sua impossibilidade, medidas de reciclagem fora da empresa podem ser utilizadas (nível 3) (Oliveira e Alves, 2007). As ações realizadas segundo os níveis 1 e 2 são também nomeadas de ações de Prevenção a Poluição (P2), por se tratar de qualquer prática, processo, técnica e tecnologia que visem a redução ou eliminação em volume, concentração e toxicidade dos poluentes na fonte geradora. Inclui também modificação nos equipamentos, processos ou procedimentos, reformulação ou re-planejamento de produtos, substituição de matérias-primas, melhorias nos gerenciamentos administrativos e técnicos da empresa do uso das matérias-primas, energia, água e outros recursos naturais (Grubhofer, 2006; Cimino, 2004; CNTL, 2003; Thiesen, 2001).

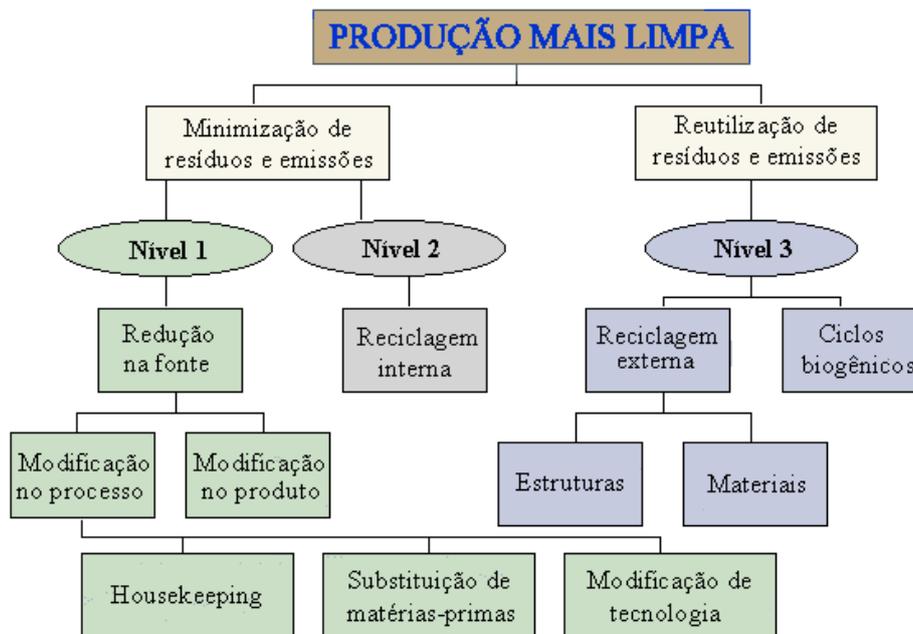


Figura 1: Fluxograma Produção mais Limpa (CNTL, 2003).

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido considerando os princípios de produção mais limpa e consiste na realização de um diagnóstico e aplicação de ações de P+L, focado nos resíduos sólidos classe II, gerados no processo produtivo de uma empresa que fabrica peças automotivas de compósitos formados por resina poliéster insaturado reforçada com fibra de vidro. Os processos produtivos envolvidos são o SMC (Sheet Molding Compound) e o RTM (Resin Transfer Molding).

O diagnóstico consistiu no levantamento dos resíduos sólidos classe II gerados e descartados no processo de moldagem por injeção de resina (RTM - Resin Transfer Molding) e no processo de moldagem por compressão (SMC - Sheet Molding Compound), bem como a quantificação e identificação das fontes geradoras. O levantamento de todos os resíduos sólidos classe II gerados foi efetuado em janeiro e fevereiro de 2011, a partir da análise de procedimentos e documentos internos e observação direta em todas as áreas produtivas da empresa, adotando procedimentos descrito por Gil (1996). Foram coletadas também informações por meio de entrevistas concedidas pelos líderes de produção e operadores de produção.

Os resíduos foram classificados como classe II, conforme ABNT NBR 10.004, a partir de análises realizadas por empresa terceirizada. Para quantificar os resíduos, bem como, identificar

as áreas geradoras, foram elaborados registros de descarte de resíduos, nos quais foram registrados, em janeiro e fevereiro de 2011, os resíduos sólidos classe II descartados e a área geradora. A quantificação foi realizada por pesagem em balança rodoviária, balança eletrônica de piso e de bancada. De posse desses dados foi possível traçar um perfil da situação atual da empresa, identificando-se, ao mesmo tempo, os pontos que poderiam ser melhorados em termos de menor geração de resíduos sólidos classe II. Após isso, aplicaram-se ações de P+L voltadas à minimização desses resíduos, considerando as seguintes dimensões propostas por Filho (2005): (1) Redução na fonte - redução ou eliminação de resíduos na fonte, a partir de boas práticas operacionais, limpeza do ambiente, melhoria de procedimentos, prevenção de perdas, melhoria do manuseio de materiais e formação (treinamento) dos trabalhadores, modificações no processo e na matéria prima. As modificações no produto não foram contempladas neste estudo; (2) Reciclagem interna e externa - neste caso, foram analisadas opções de reutilização, por meio de retorno ao processo original, bem como recuperação, mediante reprocessamento para permitir o reuso do resíduo como insumo no próprio processo ou em outros processos.

Tomando como base a metodologia estabelecida por Wiemes (2003), cada ação foi tratada isoladamente e acompanhada de plano de ação contendo as principais informações de como

proceder no desenvolvimento da respectiva ação, onde realizar a ação, prazo de execução e responsável da respectiva ação, de modo a permitir sua mensuração quanto à obtenção ou não de resultado positivo frente à situação até então existente. Todas as medidas aplicadas e propostas para P+L foram discutidas e explicadas, priorizando-se a redução na fonte e, posteriormente, reutilização e recuperação. Também foi apresentado o lucro financeiro que a empresa obteve, com a minimização dos resíduos em questão e o esperado com a implementação de algumas medidas propostas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 DIAGNÓSTICO

A partir do levantamento realizado, obteve-se quantitativamente a média aritmética dos resíduos sólidos classe II gerados em janeiro e fevereiro de 2011, bem como, as fontes geradoras, as quais estão apresentados na Tabela 1.

Considerado as mais de 84 toneladas de resíduos geradas no período em estudo e que todos os resíduos listados na Tabela 1 eram destinados a aterro industrial classe II, observou-se a grande quantidade de resíduos produzida, fazendo-se necessária a adoção de medidas para minimizar sua geração e consequente destinação final. O pó do lixamento das peças em compósitos de resina poliéster/fibra de vidro e da varrição, provenientes do processo produtivo, são gerados em diversas áreas, porém, no momento não existe uma tecnologia viável técnica e economicamente para sua minimização e reaproveitamento pela empresa, não sendo avaliado então neste trabalho.

Tabela 1: Diagnóstico dos resíduos sólidos classe II (média de janeiro e fevereiro de 2011).

Resíduos gerados	Quant. (kg/mês)	% do total	Fonte geradora
Composto SMC	9000	10,65%	Moldagem SMC
Aparas	6200	7,34%	
Pó do lixamento e varrição	320	0,38%	
Massas polimerizadas	10	0,01%	

Resíduos gerados	Quant. (kg/mês)	% do total	Fonte geradora
Pó do lixamento e varrição	90	0,11%	Acabamento SMC
Massas polimerizadas	22	0,03%	
Pó do lixamento e varrição	120	0,14%	Repasse SMC
Massas polimerizadas	20	0,02%	
Varrição	20	0,02%	Polimento e Retoque SMC
Massas polimerizadas	16	0,02%	
Pó do lixamento e varrição	120	0,14%	Reprocesso SMC
Massas polimerizadas	24	0,03%	
Peças refugadas	4103	4,86%	
Adesivo estrutural polimerizado	220	0,26%	Montagem SMC
Massas polimerizadas	18	0,02%	
Solvente sujo com resina (polimerizados)	4000	4,73%	Moldagem RTM
Manta de fibra de vidro	2860	3,39%	
Papelão sujo	1700	2,01%	
Aparas	600	0,71%	
Adesivo estrutural polimerizado	380	0,45%	
Pó do lixamento e varrição	350	0,41%	
Resina polimerizada	820	0,97%	
Pó do lixamento e varrição	90	0,11%	Fosqueamento RTM
Massas polimerizadas	28	0,03%	
Pó do lixamento e varrição	270	0,32%	Repasse RTM
Massas polimerizadas	30	0,04%	

Resíduos gerados	Quant. (kg/mês)	% do total	Fonte geradora
Varrição	30	0,04%	Polimento e Retoque RTM
Massas polimerizadas	22	0,03%	
Pó do lixamento e varrição	130	0,15%	Reprocesso RTM
Massas polimerizadas	20	0,02%	
Peças refugadas	447	0,53%	
Adesivo estrutural polimerizado	1920	2,27%	Montagem RTM
Massas polimerizadas	18	0,02%	
Aparas e pó do corte peça	46000	54,45%	Robôs
Outros (EPIs, estopas, panos, fitas adesivas, materiais de expediente, resíduos de varrição da fábrica, resíduo de construção civil, papel, plástico, metal, madeira)	4462	5,28%	Fábrica
TOTAL	84480	100%	

### 3.2 AÇÕES DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Para maior entendimento, foi discriminada na Tabela 2 a produção de produtos acabados, os resíduos sólidos classe II gerados e a razão entre a geração de resíduo e a produção, no primeiro bimestre de 2011. Dessa forma, foi possível analisar a representação dos resíduos sólidos classe II em relação ao total de produtos acabados. Verificou-se que a geração média desses resíduos era equivalente a 27,13 % do total de peças produzidas, ou seja, a cada tonelada de produtos produzidos gerava-se 271,30 kg desse resíduo.

Tabela 2: Produção de produtos acabados e resíduos sólidos classe II.

	Jan	Fev	Média
Produtos acabados (kg)	306.990,22	315.705,94	311.348,08
Resíduo classe II (kg)	83.670,00	85.290,00	84.480,00
Resíduo classe II / Produtos acabados	27,25%	27,02%	27,13%

A seguir, são apresentados os planos de produção mais limpa para os resíduos levantados segundo o diagnóstico mostrado na Tabela 1.

#### - Composto SMC

As ações de P2 e reciclagem externa tomadas estão enumeradas conforme plano de P+L para o composto SMC, descrito na Tabela 3.

O composto SMC é envolto por dois filmes plásticos, um na parte superior e outro na parte inferior da sua superfície. Em função disto, foi avaliada a possibilidade de reciclar esses plásticos com empresas de reciclagem e para isto, foram enviadas amostras. Desde então, os plásticos vêm sendo reciclados, gerando dessa forma receita para a empresa.

Foi verificada com a área de processos, a possibilidade de aproveitar melhor o composto SMC, diminuindo o descarte de rebarbas do material. As bordas do composto obtido do fornecedor apresentavam irregularidades, o que reduzia seu aproveitamento máximo no processamento das peças. A partir de meados de maio, após alguns ajustes no equipamento que produz o composto SMC, a matéria-prima começou a chegar com bordas mais aproveitáveis, possibilitando a posterior moldagem de quase todo o material.

Foram providenciadas lixeiras identificadas para os operadores separarem os filmes plásticos e os retalhos do composto, e treinamentos referentes à segregação desses resíduos. Também foi providenciado treinamento quanto ao correto modo de utilizar a matéria-prima em questão, de modo a gerar o mínimo possível de resíduo.

Tabela 3: Plano de P+L para o composto SMC.

Composto SMC					
Ação	O QUE	COMO	ONDE	QUANDO	QUEM
1	Verificar com os analistas de processo se é possível diminuir o desperdício.	Reunião e análise do material	Moldagem SMC	março/2011	Técnico Ambiental
2	Verificar possibilidade de reciclar os filmes plásticos que protegem o composto SMC.	Entrar em contato com empresas de reciclagem e enviar amostras.	Nas empresas de reciclagem	março/2011	Técnico Ambiental
3	Avaliar possibilidade de modificar a estrutura e composição das laterais do composto SMC para diminuir descarte.	Contato telefônico e explicação da situação para o fornecedor.	Escritório	março/2011	Técnico Ambiental, Analista Processo
4	Implementar a correta segregação de resíduos junto aos operadores.	Colocar uma lixeira para plástico e outra para rebarba do composto em cada prensa. Treinar operadores.	Moldagem SMC	março/2011	Técnico Ambiental, Líder de Produção
5	Instruir operadores quanto ao novo método de moldagem, explicando a necessidade de aproveitar ao máximo possível a lateral do composto.	A partir de treinamentos	Moldagem SMC	maio/2011	Analista de Processo

#### - Outros resíduos

Na Tabela 4 está apresentado o plano de P+L para os outros resíduos estudados, o qual engloba tanto ações de P2 como reciclagem externa.

O grande problema referente a esses resíduos eram justamente a segregação e o acondicionamento, sendo que alguns dos resíduos poderiam ser reaproveitados ou reprocessados, tais como papel, papelão, plástico e metal que poderiam ser reciclados; resíduos como estopas e toalhas (sujos

com pó, resina polimerizada, adesivo estrutural polimerizado, massas polimerizadas e fibra de vidro) e alguns EPIs que deveriam ser higienizados; resíduos de construção civil inertes que deveriam ir para aterro de construção civil e reciclagem; e restos de madeira, que deveriam ser doados para queima em caldeira. Resíduos como fitas adesivas e pó de varrição de toda a fábrica eram descartados corretamente.

Tabela 4: Plano de P+L para outros resíduos.

Outros resíduos					
Ação	O QUE	COMO	ONDE	QUANDO	QUEM
1	Melhorar gestão desses resíduos	Dispor recipientes identificados para descarte	Todas as áreas	abril/2011	Técnico Ambiental, Líderes de Produção
2		Treinamento das áreas referente ao gerenciamento de resíduos e conscientização	Todas as áreas	abril/2011	Técnico Ambiental

A primeira ação a ser tomada, conforme apresentado na Tabela 4, foi melhorar a gestão de resíduos. Para isso, foram disponibilizados diversos recipientes identificados para descarte de resíduos nos setores em que havia essa carência. Posteriormente, os colaboradores foram treinados em gerenciamento de resíduos e

conscientização, visando melhorar a segregação e posterior destinação para esses materiais.

**- Aparas e peças refugadas**

Na Tabela 5 está apresentado o plano de P+L para as aparas e peças refugadas.

Tabela 5: Plano de P+L para as aparas e peças refugadas.

Aparas e peças refugadas					
Ação	O QUE	COMO	ONDE	QUANDO	QUEM
1	Avaliar a possibilidade de reprocessamento	Pesquisa	Internet, artigos técnico-científicos, fornecedores, outros profissionais	setembro/2011	Técnico Ambiental

A minimização das aparas a partir da redução na fonte não foi avaliada neste estudo, pois se trata de um resíduo gerado, em sua grande maioria, nos robôs, portanto, não há variação durante o corte.

Medidas a serem tomadas em relação à superfície de corte poderiam gerar divergências quanto à qualidade do produto final exigido. As peças refugadas também não foram avaliadas em relação à redução na fonte, pois são muitos os critérios de qualidade que determinam o refugo de uma peça, e suas causas são inerentes ao processo, e muitas vezes desconhecidas.

Para ambos os resíduos, trabalhou-se com minimização a partir de possibilidades de reprocessamento, porém, devido às aparas e às peças refugadas serem feitas de compósitos de resina poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro, ou seja, de materiais termofixos, ainda não se desenvolveu métodos com viabilidade

técnica e econômica para reciclagem efetiva desses materiais no próprio processo produtivo das peças em questão.

Existem muitas pesquisas a respeito, porém ainda pouco aplicadas (Pedroso, 2002; Pinto, 2002; Vieira, 2010; Risson *et al*, 1998). No entanto, a empresa na qual o presente trabalho foi desenvolvido, faz parte de um grupo de empresas, em nível nacional, que estão estudando formas de reaproveitar esses resíduos de compósitos. Desta forma, em poucos meses ou anos espera-se o desenvolvimento de um processo para reaproveitamento dos mesmos, de forma a reinseri-los no mesmo processo ou em outros.

**- Solvente com resina polimerizado**

Na Tabela 6 é apresentado o plano de P+L, contendo tanto ação de P2 como de reciclagem externa, aplicado para o solvente com resina polimerizado.

Tabela 6: Plano de P+L para o solvente com resina polimerizado.

Solvente com resina polimerizada					
Ação	O QUE	COMO	ONDE	QUANDO	QUEM
1	Avaliar possibilidade de recuperação do resíduo não polimerizado	Entrar em contato com empresas de reciclagem e enviar amostras.	Nas empresas de reciclagem	maio/2011	Técnico Ambiental
2	Verificar possibilidade de recuperação do solvente com resina polimerizado	Pesquisa	Internet, artigos técnico-científicos, fornecedores, outros profissionais	setembro/2011	Técnico Ambiental

O solvente com resina polimeriza muito rapidamente, em menos de 24 horas já se observava grande parte do material polimerizado, portanto inviabilizava o reprocessamento. Vale ressaltar que esse resíduo polimerizado é classificado como sendo classe II, segundo laudos referentes às análises realizadas por empresa terceirizada, seguindo a ABNT NBR 10.004.

Era descartado cerca de 4000 kg por mês de solvente com resina polimerizado. Para solucionar tal problema, optou-se por minimizar o resíduo a partir da recuperação, pois não foi encontrada possibilidade para ser reduzido na fonte e o mesmo não poder ser reutilizado, devido à alta concentração de resina e catalisador existente. Em função disto, foram enviadas amostras de solvente recém gerado no processo produtivo, ainda não polimerizado, para uma empresa de recuperação de solventes, a fim de avaliar a possibilidade de reprocessar o material antes que ocorresse a polimerização. Porém, o rendimento com o reprocessamento desse material foi menor que 50% em todas as amostras enviadas, e a geração de resíduo no processo foi alta, tornando a recuperação com custo alto. Além disso, o solvente deveria ser encaminhado para a recuperação logo após a geração do resíduo, antes que polimerizasse, senão não poderia ser reprocessado, gerando dessa forma transtornos logísticos para a empresa.

Durante alguns meses, foi pesquisada a possibilidade de recuperar o solvente com resina polimerizado, ou encontrar uma destinação final

mais adequada ambientalmente e economicamente. Porém, somente em agosto de 2011, foi descoberto um profissional que desenvolveu um aditivo capaz de bloquear o efeito do catalisador, fazendo com que a resina não polimerizasse juntamente com a acetona presente no solvente. Dessa forma, o resíduo continuaria em estado líquido, possibilitando o reprocessamento.

Nos dois meses seguintes, o aditivo foi testado em algumas amostras de solvente recém gerado no processo e foi confirmada sua eficácia, uma vez que as amostras ficaram uma semana sem polimerizar até completar o volume necessário para o transporte até o fornecedor do aditivo. O reprocessamento dessas amostras se mostrou mais positivo que o reprocessamento do solvente sem o aditivo, com recuperação de mais de 50% do volume total enviado, em forma de solvente. Posteriormente, o solvente recuperado retornou à empresa para testes no processo, apresentando inicialmente boa qualidade. Desta forma, o solvente pode ser tanto retornado à empresa, para ser reutilizado no processo, ou vendido para a empresa de reprocessamento, dependendo da viabilidade econômica.

#### - Mantas de fibra de vidro

Com relação a estes resíduos, as ações de P2 e de reciclagem externa que compõem o plano de P+L são mostrados na Tabela 7.

Tabela 7: Plano de P+L para as mantas de fibra de vidro.

Mantas de fibra de vidro					
Ação	O QUE	COMO	ONDE	QUANDO	QUEM
1	Diminuir o descarte de retalhos de manta	Treinando operadores para reaproveitar os retalhos	Moldagem RTM	maio/2011	Técnico Ambiental, Analista de Processo
2	Avaliar a possibilidade de reprocessamento	Pesquisa	Internet, artigos técnico-científicos, fornecedores, outros profissionais	agosto/2011	Técnico Ambiental

A maior parte do resíduo proveniente das mantas de fibra de vidro é de retalhos, desta forma a reutilização foi focada nesse resíduo. Os operadores foram instruídos para reutilizarem os retalhos em locais da peça que seriam posteriormente cortados, em locais da peça que não exigiam alto padrão de acabamento e qualidade ou como reforço em partes específicas das peças, que necessitam de pequenos pedaços.

Foi avaliada também, a possibilidade de reprocessamento dos resíduos das mantas de fibra de vidro a partir da moagem, e posteriormente inserção no mesmo ou em outro processo. Porém, entre as camadas de fibra de vidro existe uma camada de material polimérico, mais especificamente polipropileno, o que dificultava o reprocessamento, sendo necessária a remoção do material polimérico do interior da manta, o que tornaria muito mais oneroso o reprocessamento, tornando-o inviável. A falta de um local apropriado para armazenar esse material até completar o volume necessário para viabilizar o transporte, também se tornou um impedimento.

Como proposta para a empresa, fica o acompanhamento das tecnologias de reprocessamento desse material, visto que poderá surgir uma nova tecnologia de recuperação mais eficaz e menos onerosa ou o aprimoramento das que existem, pois são tecnologias muito recentes, diminuindo ou eliminando dessa forma a destinação desse resíduo a aterro industrial.

#### - Adesivo estrutural polimerizado

Para o adesivo estrutural polimerizado, foram estabelecidas duas ações de P2, apresentadas na Tabela 8.

Os maiores contribuintes para a geração desse resíduo eram o descarte proveniente da limpeza com solvente do bico aplicador da máquina de adesivo estrutural e o desperdício. Devido à característica do equipamento que condiciona e aplica o adesivo estrutural e do produto utilizado, antes de cada uso, é realizada uma purga com solvente no equipamento com o objetivo de limpar o bico aplicador de adesivo. Com relação ao desperdício, os operadores tinham o hábito de coletar da máquina uma quantidade de adesivo maior que a necessária, o que acarretava em sobras. Nos dois casos, o resíduo resultante da atividade polimerizava e, conseqüentemente, era descartado. Em função disto, os operadores foram instruídos para descartar o mínimo necessário de adesivo na limpeza do bico aplicador e coletar somente a quantidade de adesivo estrutural que fossem utilizar, reduzindo a quantidade de resíduo gerado.

#### - Papelões sujos

Foram implantadas, para os resíduos de papelões sujos, as ações de P2 apresentadas na Tabela 9.

Gerados na moldagem RTM, os papelões eram utilizados para forrar o chão com o intuito de facilitar e diminuir a limpeza do local. Esses papelões eram sujos com pó de lixamento, fibras de vidro e resina polimerizada. Para minimizar esse resíduo, a redução na fonte foi adotada por meio do prolongamento da vida útil dos papelões. Para tal, foram tomadas duas ações. A primeira foi intensificar a limpeza no local, visto que com o ambiente mais limpo, a necessidade de troca dos papelões no chão seria menor. A segunda foi realizar a substituição dos papelões somente nos locais

Tabela 8: Ações de P2 para o adesivo estrutural polimerizado.

Adesivo estrutural polimerizado					
Ação	O QUE	COMO	ONDE	QUANDO	QUEM
1	Diminuir o descarte de adesivo estrutural polimerizado	Treinando operadores para pegar somente a quantidade de adesivo necessário na máquina	Montagem RTM, Montagem SMC, Moldagem RTM	maio/2011	Técnico Ambiental
2		Treinando operadores para descartar a menor quantidade de adesivo possível na limpeza do bico aplicador da máquina	Montagem RTM, Montagem SMC, Moldagem RTM	maio/2011	Técnico Ambiental

Tabela 9: Ações de P2 para papelões sujos.

Papelões sujos					
AÇÃO	O QUE	COMO	ONDE	QUANDO	QUEM
1	Prolongar a vida útil dos papelões	Aumentar a limpeza do local	Moldagem RTM	junho/2011	Líderes Produção
2		Descartar somente o que está sujo	Moldagem RTM	junho/2011	Líderes Produção

onde apresentasse necessidade, por estarem sujos. Era comum ser realizada a troca de todos os papelões do setor em dias pré-determinados, mesmo não havendo necessidade.

#### - Resinas polimerizadas

Na Tabela 10 está apresentado o plano com ações de P2 para a resina polimerizada.

Os resíduos de resinas são gerados na moldagem RTM, decorrentes dos respiros existentes nos moldes e residuais nos tambores, ambos polimerizam com o tempo. As ações tomadas foram baseadas em redução na fonte, pois não há possibilidade de recuperação desse resíduo depois de polimerizado. Foi verificado que alguns tambores não estavam sendo homogeneizados corretamente, conforme procedimento interno da empresa, e dessa forma as cargas mais densas da resina decantavam, proporcionando a geração de resíduo. Para reduzir tal desperdício as resinas passaram a ser mais bem homogeneizadas, devido à maior cobrança nos operadores e auditorias mais intensas no local. Os tambores passaram a ser entornados, o que propiciou o aproveitamento de toda a resina contida neles, evitando a produção de resíduo. A minimização da resina proveniente dos respiros não foi contemplada neste estudo, pois sua geração é muito pequena e não foi identificada possibilidade de redução.

#### - Massas polimerizadas

Na Tabela 11 estão apresentadas as ações de P2 para as massas polimerizadas.

As massas polimerizadas apresentavam a menor contribuição dentre os resíduos, porém são geradas em diversas áreas. São massas plásticas, a base de poliéster, utilizadas para corrigir imperfeições nas peças. Para serem aplicadas deve ser adicionado catalisador, o que ocasiona sua rápida polimerização. O que contribuía para o aumento desse resíduo era a quantidade excessiva de massa que os operadores tinham o hábito de preparar. Dessa forma sobrava massa que acabava polimerizando. Os recipientes nos quais eram descartadas as massas polimerizadas também contribuía na geração de resíduos, pois muitas vezes eram recipientes grandes. As ações foram baseadas em redução de resíduo na fonte, a partir das quais, os operadores foram instruídos para preparar menores quantidades de massa por vez, de forma a polimerizar menos massa ao longo do tempo de aplicação nas peças. Também foram instruídos para descartar o resíduo de massa em recipientes menores, diminuindo desta forma, o descarte de resíduo classe II.

Tabela 10: Plano de P2 para a resina polimerizada.

Resina polimerizada					
AÇÃO	O QUE	COMO	ONDE	QUANDO	QUEM
1	Diminuir sobras no tambor	Misturar melhor a resina nos tambores	Moldagem RTM	junho/2011	Operadores Produção, Analistas Processo
2		Entornar os restos dos tambores	Moldagem RTM	junho/2011	Operadores Produção

Tabela 11: Ações de P2 para as massas polimerizadas.

Massas polimerizadas					
AÇÃO	O QUE	COMO	ONDE	QUANDO	QUEM
1	Diminuir descarte de massas polimerizadas	Instruir operadores para preparar menores quantidades de massa por vez.	Todas as áreas	julho/2011	Técnico Ambiental
2	Descartar as massas em recipientes menores	Instruir operadores quanto ao descarte do material	Todas as áreas	julho/2011	Técnico Ambiental

### 3.3 RESULTADOS OBTIDOS

Com as ações de P+L tomadas obteve-se os resultados apresentados na Tabela 12. Observa-se claramente que o resíduo composto SMC apresentou a maior redução. Dos 6300 Kg por mês de redução, 4200 kg foram minimizados partir das medidas tomadas quanto ao desperdício da lateral do composto que gerava rebarbas e 2100 kg referentes ao filme plástico que passou a ser reciclado. Os outros resíduos também tiveram uma contribuição significativa.

Ambientalmente, houve uma melhora muito grande, primeiro porque se deixou de enviar mais de 3 toneladas de resíduo por mês, em média, para os aterros industriais classe II, contribuindo para o aumento da vida útil dos mesmos,

e segundo porque muitos resíduos passaram a ser reciclados, evitando a extração de novas matérias-primas. Economicamente, houve uma melhora significativa, visto que os gastos com destinação ao aterro industrial diminuíram aproximadamente R\$ 400,00 por mês. Houve custos para envio dos resíduos da construção civil inertes para reciclagem e aterro de construção civil, porém o lucro com a reciclagem proveniente do papel, papelão, plástico, metal, e com a higienização de toalhas, estopas e alguns EPIs se equivalem ou podem ser ainda maiores. Resíduos de madeira não geraram lucro, pois são doados para queima em caldeira, porém deixaram de ser um gasto com destinação final e receberam um destino mais adequado, sendo reaproveitados por meio de recuperação energética.

Tabela 12: Resultados obtidos com a P+L.

Resíduo	Quantificação				Custo (R\$) destinação final		Receita (R\$) reciclagem		Diferença (mês)	Diferença (ano)
	1º bimestre 2011 (Kg/mês)	Setembro 2011 (Kg/mês)	Redução		1º bimestre 2011	Setembro 2011	1º bimestre 2011	Setembro 2011		
			Kg/mês	%						
Composto SMC	9000	2700	6300	70,00%	R\$ 1.152,00	R\$ 345,60	R\$ -	R\$ 315,00	R\$ 1.121,40	R\$ 13.456,80
Outros resíduos	4462	1353	3109	69,68%	R\$ 571,14	R\$ 173,18	0	0	R\$ 397,95	R\$ 4.775,42
Aparas e peças refugadas	57350	51365	5985	10,44%	R\$ 7.340,80	R\$ 6.574,72	0	0	R\$ 766,08	R\$ 9.192,96
Solvente com resina polimerizados	4000	4000	0	0,00%	R\$ 512,00	R\$ 512,00	0	0	R\$ -	R\$ -
Mantas de fibra de vidro	2860	2200	660	23,08%	366,08	281,6	0	0	R\$ 84,48	R\$ 1.013,76
Adesivo estrutural polimerizado	2520	1920	600	23,81%	322,56	245,76	0	0	R\$ 76,80	R\$ 921,60
Papelões sujos	1700	1400	300	17,65%	217,6	179,2	0	0	R\$ 38,40	R\$ 460,80
Resinas polimerizadas	820	360	460	56,10%	104,96	46,08	0	0	R\$ 58,88	R\$ 706,56
Massas polimerizadas	228	102	126	55,26%	29,184	13,056	0	0	R\$ 16,13	R\$ 193,54

A diminuição da geração das aparas e peças refugadas, comparando-se com a média de janeiro e fevereiro/2011 com setembro/2011, foi propiciada pelo fato de haver peças novas no primeiro bimestre, e estava sendo testado o corte e furação nas mesmas, gerando mais refugo. Medidas de conscientização com os operadores dessas áreas, que também receberam treinamento, também podem ter causado efeito, mesmo não estando no escopo desse estudo.

Foi realizada uma proposta à empresa quanto ao reprocessamento do solvente com resina polimerizada. Se aceito, o valor pela venda de cada tambor (aproximadamente 200 kg) de solvente com aditivo será de R\$ 50,00. Portanto, comparando-se com a geração do resíduo em setembro (4.000 kg), o lucro com a venda desse resíduo seria de aproximadamente R\$ 1.000,00 por mês. Vale ressaltar que não haveria mais gastos com destinação desse resíduo para aterro industrial, o que proporcionaria uma economia de R\$ 512,00 com destinação final. Portanto, o lucro total com as medidas sugeridas seria de aproximadamente R\$ 1.500,00 por mês, o que corresponderia a aproximadamente R\$ 18.000,00 por ano. Se aceita a proposta, o ganho econômico será muito grande e haverá um impacto ambiental muito menor, uma vez que 100% do resíduo será reciclado.

Com as medidas de minimização adotadas para as mantas de fibra de vidro, observou-se no mês de setembro uma redução de 23,08 % de geração de resíduos com relação à média de janeiro e fevereiro, o que corresponde a 660 kg por mês de redução. As medidas de capacitação empregadas no manejo do adesivo estrutural resultaram em uma diminuição significativa na geração desse

resíduo polimerizado, correspondendo a 600 kg por mês.

A partir das ações tomadas houve um prolongamento da vida útil do papelão, e por consequência a diminuição da geração desse resíduo sujo. A geração do resíduo decaiu de 1700 kg para 1400 kg por mês, resultando em redução de 300 kg por mês, sendo equivalente a 17,65%.

Com melhor manuseio do material e prevenção de perdas, houve uma redução de 56,10% na geração de resinas polimerizadas, correspondendo a 460 kg por mês. A geração passou de 820 kg por mês nos dois primeiros meses do ano para 360 kg por mês em setembro. A quantidade de resíduo que deixou de ser gerado não parece ser significativa, mas corresponde a quase 60 %, demonstrando que as ações tomadas foram eficazes.

Os resíduos de massas polimerizadas passaram de 228 kg por mês em janeiro e fevereiro para 102 kg por mês em setembro, com diminuição de 126 kg por mês, o que equivale a 55,26%. As ações surtiram efeitos muito positivos, porém economicamente, o ganho com destinação final foi de R\$ 16,13 por mês, comparando-se os dois primeiros meses do ano com o mês de setembro. Desta forma, o ganho maior foi o ambiental, com a diminuição desse resíduo em aterro industrial e com economia de matéria-prima.

### 3.4 ANÁLISE FINAL

A partir dos resultados apresentados anteriormente, foi possível traçar um perfil do avanço das ações de produção mais limpa na empresa, conforme mostrado na Tabela 13.

Tabela 13: Produção mensal de produtos acabados e resíduos sólidos classe II.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Média
<b>Produtos acabados (Kg)</b>	306.990,22	315.705,94	335.685,32	267.846,70	273.844,80	284.782,80	308.104,89	328.088,50	328.078,75	305.458,66
<b>Resíduo classe II (Kg)</b>	83.670	85.290	82.370	73.020	60.120	62.700	68.090	70.140	66.940	72.482
<b>Resíduo classe II /Produção</b>	27,25%	27,02%	24,54%	27,26%	21,95%	22,02%	22,10%	21,38%	20,40%	23,73%

É visível a melhoria implantada quanto à minimização de resíduos sólidos classe II, tendo um progresso gradativo ao longo dos meses, sendo que ainda há um potencial de redução se adotadas as medidas sugeridas neste estudo.

Na Figura 2 está apresentada a razão entre resíduos sólidos classe II gerados e os produtos acabados, no período de janeiro a setembro de 2011. Observa-se, a partir da análise dos resultados apresentados nas Tabelas 2 e 13 e na Figura 2, que a razão de geração do resíduo em relação à quantidade de peças produzidas, mudou de 27,13 % no primeiro bimestre do ano, para 20,40 % em setembro.

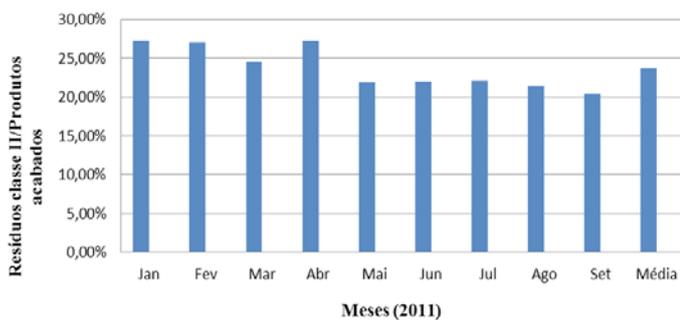


Figura 2: Gráfico razão entre resíduos sólidos classe II gerados e produtos acabados.

Comparando o primeiro bimestre do ano com setembro, verifica-se que para cada tonelada de peças produzidas, eram gerados 271,30 kg desse resíduo e, posteriormente, foram gerados 204 kg, correspondendo a uma redução de 24,81 %. A redução dos resíduos enviados ao aterro industrial classe II foi gradativa ao longo dos meses analisados neste trabalho, apresentando um aumento somente no mês de abril de 2011, fato explicado pelo grande número de peças que estavam estocadas e que foram refugadas e posteriormente descartadas. Considerando que a geração de resíduos é proporcional a quantidade de produtos produzidos, se a geração de resíduos sólidos classe II em setembro tivesse a mesma proporção apresentada em janeiro e fevereiro, a produção de resíduos seria de 89.019,64 kg. Dessa forma, a produção de resíduos apresentaria 22.079,64 kg acima do apresentado no referido mês, de 66.940 kg.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir das ações de produção mais limpa tomadas, empregando técnicas de P2 e recupera-

ção de resíduos, aplicadas direta e indiretamente, obteve-se uma redução de 67,3 kg de resíduo sólido classe II por tonelada de produtos produzidos, quando comparados o primeiro bimestre de 2011 com setembro. Quando analisado em números absolutos, obteve-se uma redução de 17540 Kg no mesmo período. Com essa minimização, a redução de custo, somente com destinação final para aterro industrial diminuiu mais de R\$ 2.500,00 no referido mês. Em média, obteve-se um lucro de R\$ 315,00 por mês com reciclagem. Há ainda uma proposta que equivale a um lucro de mais de R\$ 1.500,00 por mês. Ao montante de um ano, essas técnicas de minimização representam quase R\$ 50.000,00 de economia. Foram considerados somente os custos com destinação final dos resíduos, nesse caso, todos eram destinados a aterro industrial classe II. Se fossem considerados os custos de transporte do resíduo, acondicionamento, gestão interna e externa do resíduo, mão de obra e o passivo ambiental, o lucro seria muito maior. Em termos ambientais, houve uma melhora bastante significativa, pois se deixou de enviar quase 20 toneladas de resíduo para aterro industrial por mês, prolongamento a vida útil dos mesmos. Houve diminuição dos desperdícios e, conseqüentemente, a diminuição de consumo de matéria-prima e aumentou-se a reciclagem de resíduos, retornando esses materiais novamente para a cadeia produtiva.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. Classificação de Resíduos Sólidos, NBR-10004, Rio de Janeiro, 1987.
- CIMINO, M. A. Gerenciamento de pneumáticos inservíveis: análise crítica de procedimentos operacionais e tecnologias para minimização, adotados no território nacional. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.
- CNTL – Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Implementação de Programas de Produção mais Limpa. Disponível em: < [http://www.ifm.org.br/moodle/file.php/19/CNTL\\_guia\\_P\\_L.pdf](http://www.ifm.org.br/moodle/file.php/19/CNTL_guia_P_L.pdf) >. Acesso em 30/06/2011.

FILHO, S. J. Q. Minimização de resíduos de pós de carbono na Ucar Produtos de Carbono S.A.,

em Candeias – BA. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

GIL, A. C. Como Elaborar Projetos de Pesquisa. Ed. Atlas, 4ª edição, São Paulo, 2002.

GRUBHOFER, F. O. Minimização de resíduos em uma indústria gráfica de cartões Plásticos. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

LEE, G. W.; LEE, N. J.; JANG, J.; LEE, K. J.; NAM, J. D. Effects of surface modification on the resin transfer moulding (RTM) of glass-fibre/unsaturated-polyester composites. *Composites Science and Technology*, v. 62, p. 9-16, 2002.

OLIVEIRA FILHO, F. A. Aplicação do conceito de produção limpa: estudo em uma empresa metalúrgica do setor de transformação do alumínio. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

OLIVEIRA, J. F. G.; ALVES, S. M. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental. *Produção*, v. 17, n. 1, p. 129-138, Jan./Abr. 2007.

PEDROSO, A. G. Desenvolvimento de um processo de manufatura de placas de compósitos de poliéster insaturado/fibra de vidro pós-consumo e resina poliéster insaturado. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Campinas, Campinas, 2002.

PINTO, K. N. C. Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: Poliéster insaturado reforçado com fibra de vidro. Dissertação (Mestrado em Ciências, Tecnologia Nuclear, Materiais) – IPEN/Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

RISSEON, P.; CARVALHO, G. A.; VIEIRA, S. L.; ZENI, M.; ZATTERA, A. J. Reaproveitamento de resíduos de laminados de fibra de vidro na confecção de placas reforçadas de resina poliéster. *Polímeros*, v. 8, n. 3, p. 89-92, 1998.

SOLYON, G. J. P. Minimização e reaproveitamento de resíduos de uma indústria de tintas e impressão de papéis decorativos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

THIESEN, M. P. Metodologia de minimização aplicada no gerenciamento de resíduos. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Curitiba, 2001.

VIEIRA, F. H. Reaproveitamento de Resíduos de Compósitos de Resina Poliéster Insaturado/Fibra de Vidro na Fabricação de Carcaça de Ônibus. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental) – Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2010.

WIEMES, L. Minimização de resíduos no processo de pintura da indústria automotiva. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

Artigo submetido em 25/12/2011, aceito em 10/07/2012