

## **Avaliação dos custos de geração de rejeitos em uma indústria do setor metal-mecânico**

Paulo Ricardo Santos da Silva (PPGEP/UFRGS) [paulors@producao.ufrgs.br](mailto:paulors@producao.ufrgs.br)  
Fernando Gonçalves Amaral (PPGEP/UFRGS) [amaral@producao.ufrgs.br](mailto:amaral@producao.ufrgs.br)

### **Resumo**

*A questão ambiental tornou-se um assunto cada vez mais importante no meio industrial. Em busca de um melhor desempenho nessa área, muitas empresas estão adotando Sistemas de Gestão Ambiental. No entanto, esses sistemas fornecem poucas informações sobre os custos ambientais, em particular aqueles relacionados com a geração de rejeitos. Normalmente, os trabalhos que abordam esse assunto tratam apenas os custos de correção e de prevenção de problemas ambientais. A fim de colaborar para o preenchimento dessa lacuna, este trabalho apresenta um modelo de avaliação dessa parcela dos custos ambientais. Sua aplicação em uma indústria do setor metal-mecânico permitiu identificar em quais etapas do processo produtivo os custos de geração são mais significativos, bem como quais resíduos são mais onerosos para o processo.*

*Palavras-chave: Gestão ambiental, Custos ambientais, Custo de geração*

### **1. Introdução**

Ao longo da história, constatou-se que o homem sempre explorou os recursos naturais do planeta e gerou resíduos sem se preocupar com seus efeitos sobre o meio ambiente (MOURA, 2000). Segundo Azapagic (1999), isso provocou a degradação de recursos naturais e a poluição do ar, da água e do solo. Somente nos últimos anos, essa situação promoveu a preocupação da sociedade com a qualidade do ambiente. Esse fator, associado à rigorosa legislação ambiental, foi responsável pela busca por formas de racionalizar o uso de recursos naturais e minimizar a geração de resíduos no ramo industrial (ZBONTAR & GLAVIC, 2000). Nesse sentido, muitas indústrias passaram a integrar as questões ambientais aos seus processos produtivos através dos denominados Sistemas de Gestão Ambiental (SGA).

Hoje, mais de 30.000 empresas no mundo estão utilizando sistemas voltados para a gestão ambiental, sendo que este número tende a aumentar rapidamente (AMMENBERG & HJELM, 2002). Essa crescente preocupação com respeito ao meio ambiente também motivou o desenvolvimento de técnicas para incorporar aspectos dessa natureza no projeto e na operação de processos industriais (BAKSHI, 2000). No entanto, conforme Regatschnig e Schnitzer (1998), somente o desenvolvimento de tecnologias de controle de rejeitos e a integração de aspectos ambientais nos sistemas de gerenciamento não são suficientes para tornar a proteção ao meio ambiente uma prática efetiva nas organizações. Faz-se necessário integrar conhecimentos econômicos aos ecológicos. Para isso, torna-se importante que as empresas quantifiquem e interpretem os custos resultantes de emissões e de rejeitos gerados.

Especificamente no setor metal-mecânico, Nascimento et al. (1997) constataram que os maiores problemas enfrentados por empresas dessa área são a geração de resíduos sólidos e a emissão de particulados. Ainda, embora elas tenham adotado medidas para melhorar seu desempenho ambiental, poucas empresas conseguiram contabilizar os seus custos ambientais e os ganhos obtidos através da adoção de tais medidas. Segundo os autores, a ausência de informações e de uma metodologia de análise dificultam a realização de uma eficiente contabilidade ambiental.

Nesse contexto, o presente artigo visa apresentar uma proposta metodológica de avaliação de custos ambientais em processos industriais, bem como sua aplicação em uma empresa do setor metal-mecânico, responsável pela fabricação de incineradores industriais e hospitalares.

## 2. Avaliação de custos ambientais

Para Meinders & Meuffels (2001) a maioria das preocupações ambientais pode ser relacionada com aspectos econômicos; uma vez que a redução no consumo de materiais e de energia está diretamente ligada com benefícios financeiros. No entanto, conforme Campos (1996), mensurar custos relacionados ao meio ambiente é uma tarefa difícil, pois eles são compostos por uma grande parcela de intangíveis, isto é, custos de difícil percepção e relacionados indiretamente com aspectos ambientais, como por exemplo, a perda de mercado devido à imagem ambiental negativa da empresa.

Outro aspecto que colabora para dificultar a avaliação de custos ambientais é a falta de uma definição única e abrangente para esse termo. Dependendo dos interesses envolvidos, pode-se incluir uma variedade de parcelas, tais como: disposição de resíduos, investimentos na área ambiental e, algumas vezes, gastos relacionados com a correção de problemas ambientais que ocorrem fora da empresa (JASCH, 2003). Para contornar tais dificuldades, alguns modelos e metodologias de avaliação ambiental foram propostos na literatura, como pode ser visto no quadro comparativo apresentado na Figura 1.

CRITÉRIOS DE COMPARAÇÃO	MODELOS				
	Diependaal e Walle (1994)	Campos (1996)	Regatschmig e Schnitzer (1998)	Kraemer (2002)	Jasch (2003)
Baseia-se em uma analogia com os Custos da Qualidade	X	X		X	
Avalia os custos de correção e de prevenção de impactos ambientais	X		X	X	X
Avalia os custos ambientais sob a ótica de atividades e processos		X	X	X	X
Identifica e quantifica as etapas do processo que contribuem preponderantemente para os custos ambientais				X	
Possibilita o desdobramento da análise em partes do processo		X	X		
Considera as perdas e as ineficiências do processo produtivo na avaliação dos custos ambientais					X
Insere os custos ambientais nos sistemas de avaliação de desempenho da empresa			X	X	X
Propõe ações de melhorias e avalia suas relações com a redução dos custos ambientais		X	X	X	

Figura 1 – Quadro comparativo entre os modelos de avaliação de custos ambientais

A análise da Figura 1 revela que nenhum dos trabalhos apresentados na literatura é capaz de satisfazer a todos os critérios para a obtenção de um modelo de avaliação de custos ambientais completo e abrangente. No entanto, suas particularidades se complementam umas às outras.

Entre essas particularidades destaca-se o fato de que somente a metodologia proposta por Jasch (2003) é capaz de avaliar os custos envolvidos na geração de rejeitos pelos processos produtivos, ao considerá-los como resultados de perdas e de ineficiências do processo. Segundo esse autor, a inserção dessas parcelas na avaliação, torna os custos ambientais significativos dentro dos custos totais de uma empresa. Isso porque as empresas investem na aquisição de materiais que deveriam se transformar em produtos comercializáveis, mas que acabam sendo perdidos na forma de rejeitos.

Do ponto de vista de método de custeio, os modelos de avaliação de custos ambientais, como o de Jasch (2003) e o de Kraemer (2002), utilizam o método Custeio Baseado em Atividades (*Activity Based Costing – ABC*) em suas propostas, denotando ser esse um método eficiente na avaliação de custos ambientais.

Considerando tais aspectos, o modelo proposto a seguir visa a quantificação dos custos de geração de rejeitos em um processo produtivo e cuja operacionalização utiliza as bases teóricas do ABC.

### 3. Modelo de avaliação de custos ambientais proposto

O modelo apresentado neste trabalho foi desenvolvido a fim de se ter uma avaliação bem estruturada dos custos de geração de rejeitos em processos industriais. No âmbito desse trabalho, custo de geração deve ser entendido como os gastos relacionados com a produção de um material que não será comercializado e que necessitará de tratamento para ser disposto no meio ambiente.

É importante salientar que os custos de geração constituem-se em apenas uma das parcelas dos custos ambientais. Estes são compostos também pelos gastos envolvidos no tratamento e disposição de rejeitos (custos de correção) e pelos investimentos realizados pelas empresas para a prevenção de problemas ambientais e a melhoria de processo (custos de prevenção), como esquematicamente apresentado na Figura 2.

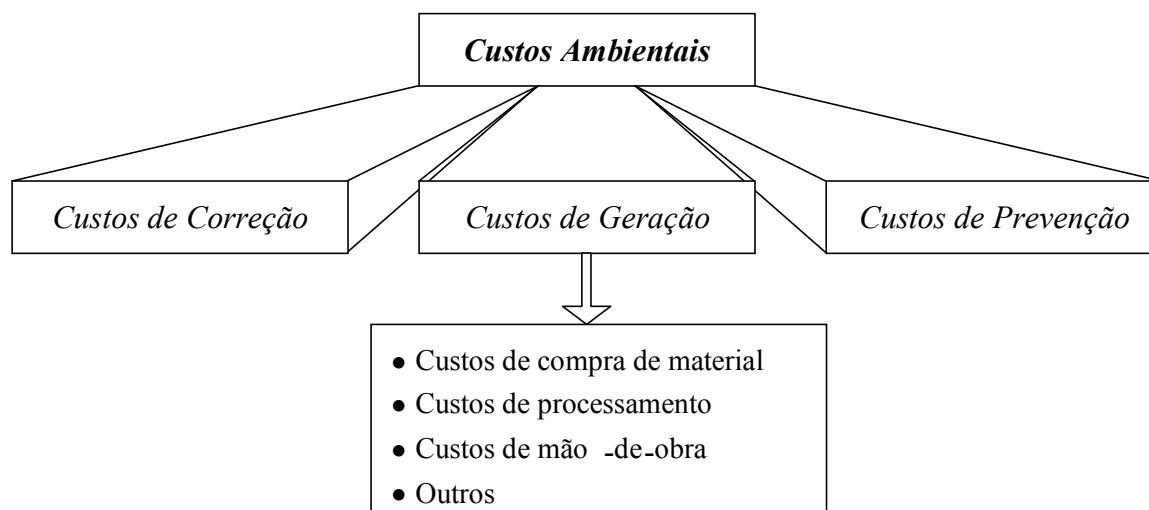


Figura 2 – Custos de geração dentro do contexto dos custos ambientais

Como se observa através da Figura 2, os custos de geração devem considerar os custos de aquisição de materiais, os gastos envolvidos em seu processamento até ser considerado um rejeito, o custo da mão-de-obra empregada durante esse processamento, entre outros.

Para alcançar os objetivos propostos, o modelo desenvolvido foi estruturado em 6 etapas, conforme a Figura 3, e detalhadas a seguir.

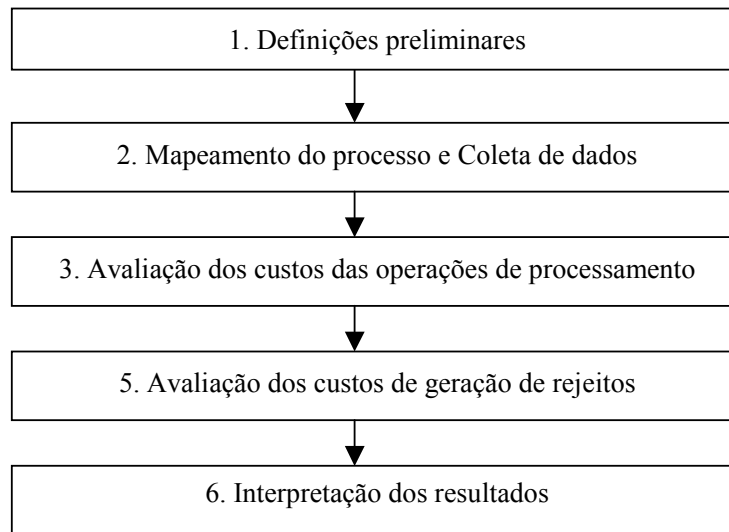


Figura 3 – Fluxograma com as etapas do modelo de avaliação dos custos de geração

### 3.1 Definições preliminares

Nessa etapa inicial da aplicação do modelo proposto é definido qual é o objetivo específico de sua utilização na empresa em questão. Além disso, escolhe-se uma unidade de referência, para expressar os resultados do estudo, facilitando a comparação com outras análises, ou mesmo a comparação entre produtos e processos distintos. Normalmente, essa unidade de referência corresponde a uma unidade de massa de produto ou uma unidade do produto.

### 3.2 Mapeamento do processo e coleta de dados

O mapeamento do processo produtivo visa estruturá-lo em uma seqüência de etapas pelas quais passam as matérias-primas, desde a sua entrada na empresa até a saída como produto acabado. Neste trabalho, tais etapas são denominadas de operações de processamento.

Durante a realização do mapeamento do processo é importante que sejam identificadas as principais entradas e saídas de materiais em cada operação de processamento. Dessa forma, ao final dessa etapa tem-se um fluxograma de processo analisado, o que facilitará a avaliação de custos *a posteriori*.

Também nesta etapa é realizada a coleta de dados, através da qual obtém-se dados sobre os materiais consumidos e seus respectivos custos, os equipamentos utilizados no processo e sua taxa de utilização, a mão-de-obra empregada, a área ocupada por cada operação de processamento na empresa, os rejeitos gerados em cada operação e sua origem (insumos, matérias-primas ou produtos intermediários).

### 3.3 Avaliação dos custos das operações de processamento

Esta etapa do modelo visa determinar o quanto de recursos financeiros é consumido por cada operação do processo produtivo. Para isso, os gastos com insumos, mão-de-obra direta, energia e os custos indiretos (aluguel, atividades administrativas) são distribuídos entre as operações de processamento, através do uso de direcionadores de recursos, de forma similar ao método ABC. A equação (1) apresenta as parcelas que são consideradas na avaliação dos custos das operações de processamento.

$$CP(j) = IN(j) + MOD(j) + E(j) + CI(j) \quad (1)$$

em que:  $j$  é o índice que caracteriza a operação de processamento analisada;  
 $CP(j)$  é o custo da operação  $j$ ;  
 $IN(j)$  é o custo dos insumos utilizados em  $j$ ;  
 $MOD(j)$  é o custo da mão-de-obra direta;  
 $E(j)$  é o custo devido ao consumo de energia;  
 $CI(j)$  corresponde aos custos indiretos.

Observe-se que as matérias-primas não são consideradas nessa avaliação, uma vez que elas são consumidas pelo processo como um todo e não por uma operação de processamento específica. Por outro lado, os gastos com insumos constituem uma parcela avaliada, pois diferentemente das matérias-primas, os insumos normalmente são utilizados em etapas específicas.

### 3.4 Avaliação dos custos de geração de rejeitos

Cada operação de processamento é responsável pela fabricação de produtos intermediários que, em conjunto, darão origem ao produto final. No entanto, eventualmente também são gerados subprodutos, resíduos, efluentes e emissões. Assim, esta avaliação tem a finalidade de distribuir os custos das operações de processamento entre esses objetos de custo.

Para isso, é necessário considerar as informações de fluxo de materiais obtidas durante o mapeamento do processo produtivo e os custos de cada material utilizado no processo. O cálculo dos custos de geração de rejeitos deve ser realizado gradativamente, ou seja, desde a primeira até a última operação de processamento, considerando também os custos das operações de processamento. Para isso, emprega-se a equação (2).

$$CG(j) = \sum_{i=1}^n CM_{ij} + w_j \cdot CP(j) \quad (2)$$

em que:  $CG(j)$  é o custo de geração de rejeitos associados à operação  $j$  do processo produtivo;  
 $CM_{ij}$  é a parcela dos custos do material  $i$  perdido na operação  $j$ ;  
 $w_j$  é o fator que associa os custos operacionais da operação  $j$  à geração de rejeitos.

O fator  $w_j$  utilizado na equação (2) corresponde à razão entre a quantidade de rejeito  $i$  gerado na operação  $j$  e a quantidade total de material que sai dessa operação. Caso o rejeito tenha sido gerado de um insumo, o termo  $CM_{ij}$  será nulo, pois esses materiais são utilizados para dar sustento as operações de processamento, ou seja, são materiais auxiliares e seus custos já foram incluídos na parcela dos custos de operação de processamento, conforme equação (1). No entanto, se o rejeito for originado de matérias-primas, a parcela  $CM_{ij}$  deve fazer parte do custo de geração, pois esses materiais são consumidos para a produção de produtos, não de rejeitos.

Ainda, se o rejeito for resultante de uma parcela do produto intermediário o termo  $CM_{ij}$  considerar o custo das matérias-primas empregadas e o valor agregado a elas até essa etapa do processo produtivo em questão.

### **3.5 Interpretação dos resultados**

O objetivo dessa etapa final é comparar os custos dos rejeitos gerados em cada operação de processamento, identificando quais as operações que mais contribuem para a parcela dos custos de geração. Além disso, visa determinar qual o rejeito mais oneroso para a empresa, facilitando assim a tomada de decisões no que se refere a onde realizar ações de melhoria imediatas.

## **4. Aplicação do modelo**

O modelo apresentado anteriormente foi aplicado em uma empresa do setor metal-mecânico responsável pela fabricação de incineradores industriais e hospitalares. Esses equipamentos são utilizados para a decomposição térmica, via oxidação, de resíduos provenientes de processos industriais e hospitalares.

### **4.1 Definições preliminares**

A aplicação desse modelo na empresa analisada tinha como objetivo fornecer mais informações sobre os custos de geração de seus resíduos, para que ela pudesse tomar ações de melhoria mais direcionadas.

Para a escolha da unidade de referência, foram consideradas as características intrínsecas do processo produtivo. Desta forma, foi utilizada uma unidade de incinerador como referencial.

Após terem sido estabelecidas essas definições preliminares, foi possível seguir com a segunda etapa do modelo que envolve o mapeamento e a coleta de dados.

### **4.2 Mapeamento do processo e coleta de dados**

A partir de visitas à empresa observou-se que o processo produtivo é composto basicamente de 9 etapas, conforme pode ser observado no fluxograma da Figura 4.

Inicialmente, as chapas de aço, principal matéria-prima, passam pela operação de corte e calandragem, onde recebem o tamanho e a forma adequada para a fabricação do incinerador. A seguir, são soldadas e polidas. Na seqüência, são colocados os instrumentos que servirão para o controle do equipamento durante o seu funcionamento.

Paralelamente, são fabricadas algumas peças que serão incorporadas ao incinerador, na operação denominada de tubulação. Após, o produto semi-acabado recebe o revestimento interno de concreto refratário e isolante, a pintura e então está pronto para a montagem final no local em que ele será utilizado.

Já na coleta de dados, foram obtidas as seguintes informações: a) os materiais consumidos na fabricação do incinerador, a etapa em que eles são utilizados e os seus respectivos custos; b) os equipamentos utilizados em cada operação de processamento e seu consumo energético; c) os resíduos gerados no processo produtivo e sua origem; d) o número de horas-homem empregado em cada etapa da fabricação do incinerador e seu respectivo custo; e) demais custos indiretos (aluguel, mão-de-obra indireta, impostos).

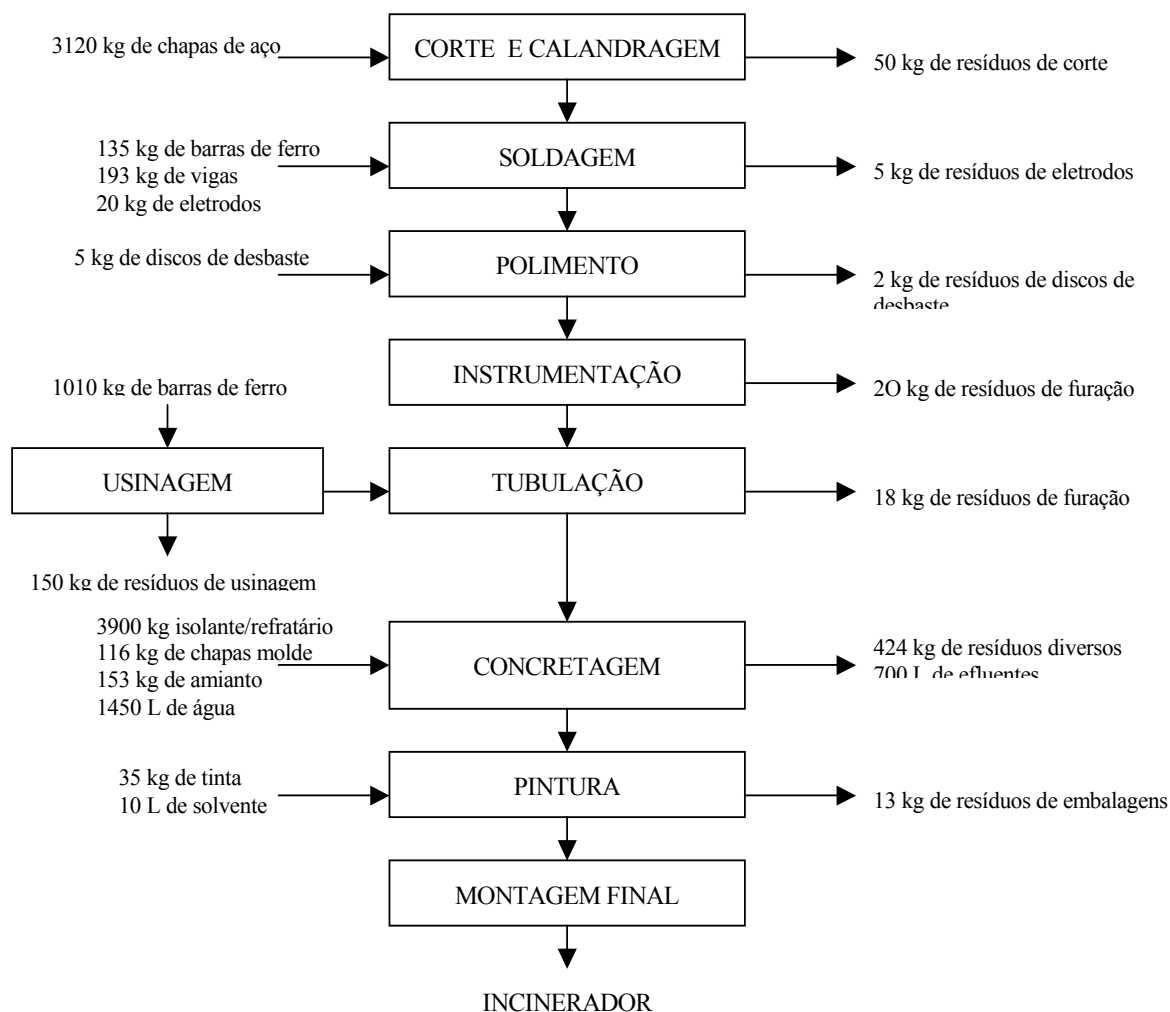


Figura 4 – Fluxograma do processo produtivo analisado

### 4.3 Avaliação dos custos das operações de processamento

Com base nas informações obtidas e empregando-se a equação (1), foi determinado o custo de cada operação de processamento do processo analisado, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Custo das operações de processamento

Recurso	Custo do recurso (R\$)	Direcionador	Operações de processamento								
			Corte e Calandragem	Soldagem	Polimento	Instrumentação	Usinagem	Tubulação	Concretagem	Pintura	Montagem Final
Insumos	989,92	Direto	345,68	522,07	66,00	21,75			1,92	32,50	
Energia	391,25	Potência	10,69	11,30	8,19	1,41	114,73	136,86	103,92	0,89	
Mão-de-obra	1.792,00	Horas	102,40	204,80	102,40	204,80	409,60	204,80	307,20	102,40	153,60
Aluguel	2.800,00	Área	252,00	201,60	168,00	168,00	134,40	84,00	252,00	252,00	168,00
Impostos	1.800,00	Área	162,00	129,60	108,00	108,00	86,40	54,00	162,00	162,00	108,00
Custo total de cada operação (R\$)			872,77	1.069,77	452,59	503,96	745,13	479,66	827,04	549,79	429,6
% do custo total			14,7	18	7,6	8,5	12,6	8	14	9,3	7,2

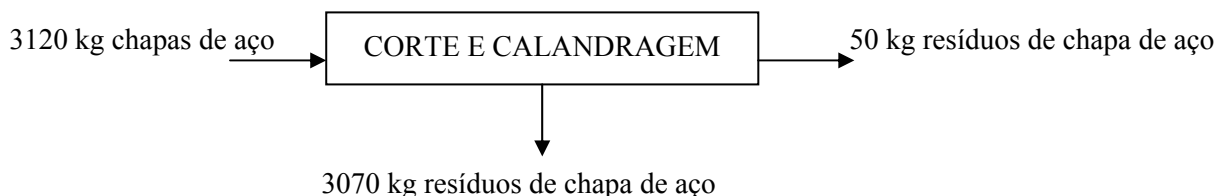


A partir dos resultados apresentados na Tabela 1, conclui-se que a operação de soldagem é a que apresenta maior custo entre todas as operações que são realizadas durante a produção do incinerador. Isto é resultado do elevado gasto com consumo de insumos utilizados nessa etapa do processo.

#### 4.4 Avaliação dos custos de geração de rejeitos

Após a avaliação dos custos de cada operação de processamento e, sabendo-se quais rejeitos são gerados em cada operação, é possível determinar o custo de geração dos resíduos do processo. Para tal, foi empregada a equação (2).

A título de exemplificação do cálculo que foi realizado, considerou-se os resíduos de corte da etapa de corte e calandragem.



- Quantidade de resíduo gerado (kg) = 50
- Quantidade total de material que sai da operação de processamento (kg) = 3120
- Custo unitário da chapa de aço (R\$/kg) = 2,18
- Custo total da operação de processamento (R\$) = 872,77

Portanto, o parâmetro  $w_j$  nesse caso assume o valor 0,016 e o custo de geração desse rejeito é:

$$CG = 50 \times 2,18 + 0,016 \times 872,77 = 122,96 \text{ reais}$$

Realizando um procedimento análogo para os demais rejeitos foram encontrados os custos de geração apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Custo de geração dos rejeitos no processo produtivo analisado

Operação de processamento	Rejeito produzido	Custo de geração (R\$)	% do custo de geração total do processo
Corte	Resíduos de corte de chapas	122,96	5,50
	Resíduos de disco de corte	1,78	0,08
Soldagem	Resíduos de eletrodo	1,42	0,06
Polimento	Resíduos de disco de desgaste	0,27	0,01
Instrumentação	Resíduos de furação	75,51	3,40
	Resíduos de disco de corte	0,17	-
Usinagem	Resíduos de rebarba de torno	740,66	33,00
Tubulação	Resíduos de furação	91,98	4,10
Concretagem	Efluente de lavagem de equipamento	57,36	2,60
	Resíduos de embalagens	31,55	1,40
	Resíduos de concreto isolante	18,34	0,80
	Resíduos de concreto refratário	106,49	4,76
	Resíduos de chapa molde	576,64	25,78
	Resíduos de amianto	288,37	12,90
Pintura	Resíduos de estopa	0,31	0,01
	Resíduos de embalagens	122,99	5,50
Total		2.236,80	100,00



Como se pode observar através dos resultados da Tabela 2, o resíduo de rebarba de torno é o responsável pela maior parte dos custos de geração de rejeitos no processo produtivo analisado. A análise das parcelas que constituem o custo de geração desse material revela que a fração relativa ao custo de material é significativa e responsável por esse resultado.

#### 4.5 Interpretação dos resultados

A partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores do modelo, pode-se concluir que:

- a) a operação de concretagem é responsável pelo maior consumo de recursos no processo analisado, como se verificou na Tabela 1;
- b) essa operação também apresenta o maior número de rejeitos gerados, totalizando 33% dos rejeitos gerados pelo processo, como pôde ser observado através da Tabela 2;
- c) as operações de concretagem e usinagem são responsáveis por mais de 80% dos custos de geração de rejeitos nesse processo produtivo;
- d) o resíduo de rebarba de torno, na operação de usinagem, apresentou o maior custo de geração entre todos os rejeitos do processo.

#### 5. Conclusões

A partir dos resultados obtidos, pôde-se verificar que a geração de resíduos sólidos é o principal problema que deve ser tratado nessa empresa. Isso está em concordância com as conclusões obtidas por Nascimento et al. (1997). Além disso, as operações de concretagem e usinagem são críticas para o processo, pois são responsáveis pela maior parte dos custos de geração. Desta forma, este estudo atingiu os objetivos estabelecidos inicialmente pela empresa, pois permitiu identificar qual dentre as etapas da fabricação do incinerador contribui preponderantemente para os seus custos de geração de rejeitos.

Do ponto de vista metodológico, observa-se que o modelo desenvolvido está adequado aos seus propósitos, pois sua aplicação permitiu quantificar os custos de geração nesse processo produtivo. Ainda, ele possibilitou identificar quais são os rejeitos que contribuem preponderantemente para essa parcela dos custos ambientais.

No entanto, sua aplicação em processos mais complexos em que ocorre recirculação de materiais ou geração de emissões gasosas pode não fornecer bons resultados. Por isso, recomenda-se aplicá-lo em outros processos produtivos de diferentes características, a fim de explorar suas potencialidades e identificar outras restrições a sua utilização.

#### Referências

- AMMENBERG, J. & HJELM O. (2002) – The connection between environmental management systems and continual environmental performance improvements. *International Journal of Corporate Sustainability*. Vol. 8, p. 183-192.
- AZAPAGIC, A. (1999) – Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimisation. *Chemical Engineering Journal*. Vol. 7, p. 1-21.
- BAKSHI, B.R. (2000) – A thermodynamic framework for ecologically conscious process systems engineering. *Computers and Chemical Engineering*. Vol. 4, p. 1767-1773.
- CAMPOS, L.M.S. (1996) – Um estudo para definição e identificação dos custos da qualidade ambiental. *Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção – UFSC*. Florianópolis.
- DIEPENDAAL, M.J. & WALLE, F.B. (1994) – A model for environmental costs for corporations (MEC). *Waste Management & Research*. Vol. 12, p. 429-439.

- JASCH, C. (2003) – The use of environmental management accounting (EMA) for identifying environmental costs. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 11, p. 667-676.
- KRAEMER, T.H. (2002) – Modelo Econômico de Controle e Avaliação de Impactos Ambientais. *Tese de doutorado em Engenharia de Produção – UFSC*. Florianópolis.
- MEINDERS, H. & MEUFFELS, M. (2001) – Production chain responsibility – an industry perspective. *International Journal of Corporate Sustainability*. Vol. 8, p. 348-354.
- MOURA, L.A.A. (2000) – *Qualidade e Gestão Ambiental*. 2ª Edição. São Paulo.
- NASCIMENTO, L.F.; LEMOS, A.D.C. & HIWATASHI, E. (1997) – O perfil ambiental das empresas do setor metal-mecânico e seus desafios competitivos. *Revista Produto & Produção*. Vol. 1, n. 1, p. 40-57.
- REGATSNIG, H.D & SCHNITZER, H. (1998) – A techno-economic approach to link waste minimization technologies with the reduction of corporate environmental costs: effects on the resource and energy efficiency of production. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 6, p. 213-225.
- ZBONTAR, L. & GLAVIC, P. (2000) – Total site: wastewater minimization. Wastewater reuse and regeneration reuse. *Resources, conservation and recycling*. Vol. 30, p. 261-275.