



Acca4themic

INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

Método para Coleta e Análise de Dados para Avaliação de Desempenho Ambiental da Indústria Metal Mecânica

ANTUNES, C. V.^a, UGAYA, C. M. L.^a

a.Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, celso.antunes@gmail.com,

a.Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, cassiaugaya@utfpr.edu.br.

Resumo

O setor Metal Mecânico destaca-se pela relevância na economia do país e pela ampla abrangência, compreendendo metalurgia, fabricação de produtos de metal e fabricação de máquinas. Tendo em vista os insumos utilizados e os resíduos gerados durante os processos industriais, destaca-se como importante causador de impactos ambientais. Uma metodologia utilizada para reduzir os impactos ambientais no processo produtivo é a Produção Mais Limpa (P+L). Para tanto, é necessário identificar qual a fonte causadora destes impactos. Neste contexto, tanto a P+L como também a norma ambiental ISO 14001, no item 4.3.1 intitulado Aspectos Ambientais, preconiza que a organização deve estabelecer procedimentos para identificar os aspectos ambientais das atividades, produtos e serviços dentro do escopo definido do sistema de gestão ambiental. Por outro lado, ambas não recomendam ou determinam um método específico voltado a esta finalidade. Por outro lado, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), técnica utilizada para avaliação de impacto ambiental de produtos, depende de dados de cada processo desde a extração ao descarte do produto e Frischknecht et al (2007) apresentam uma forma consistente de coleta de dados ao longo desta cadeia de processos. Desta forma, a fim de otimizar a coleta de dados pelas organizações para avaliações ambientais, sugere-se que tanto na implementação do P+L como da ISO 14001, utilize-se a forma de coleta de dados em ACV. No presente artigo é apresentado um estudo de caso na fabricação de produtos da indústria metal-mecânica, demonstrando a viabilidade desta proposta.

Palavras-chave: *produção mais limpa, avaliação de ciclo de vida, meio ambiente, sustentabilidade.*

1 INTRODUÇÃO

Os processos industriais de transformação visam obter produtos a partir de matérias-primas, insumos e materiais auxiliares por meio da aplicação de tecnologias e utilização de equipamentos produtivos. Ao longo de cada processo podem ser demandadas quantidades consideráveis de matérias-primas, insumos, energia e água. Todos estes recursos são de alguma forma provenientes do meio ambiente e a extração, utilização e disposição final inexoravelmente resultam em algum tipo de impacto ambiental, ainda que pouco significativo. Inserida neste contexto destaca-se a indústria metal-mecânica e seus processos, os quais desempenham papel fundamental na economia de um país, seja em termos de sua participação no Produto Interno Bruto e na geração de postos de trabalho como, por exemplo, participando com 18,25% do total de empregados da Indústria de Transformação brasileira (IBGE 2009).

No entanto, a inexistência de dados de desempenho ambiental para a indústria metal-mecânica dificulta a compreensão, avaliação, mapeamento, prevenção e minimização de possíveis impactos sócio-ambientais vinculados aos processos produtivos.

Desde o início da industrialização do país, as empresas de uma forma geral não se preocupavam com as questões ambientais, sendo que os resíduos gerados pelas mesmas eram sistematicamente e indiscriminadamente depositados nos compartimentos ambientais (i.e. na água, no ar ou no solo), desprovidos de um efetivo tratamento e controle, agravado pelo fato de não existir nos quadros da empresa a figura de um responsável pela área ambiental.

Dentre as atividades e empreendimentos sujeitos ao licenciamento ambiental a indústria metal mecânica está representada no todo ou em parte, de acordo com a Resolução CONAMA 237, de 1997.

Desta forma, para a indústria metal mecânica adequar os processos às exigências legais, tornou-se necessária então a adoção de metodologias de suporte à gestão ambiental (CEBDS, 2009).

Uma destas metodologias é conhecida como Produção Mais Limpa ou PMaisL, tendo como conceito fundamental: “A aplicação contínua de uma estratégia ambiental de prevenção da poluição na empresa, focando os produtos e processos, para otimizar o emprego de matérias-primas, de modo a não gerar ou a minimizar a geração de resíduos, reduzindo os riscos ambientais para os seres vivos e trazendo benefícios econômicos para a empresa” (PNUMA, 1993).

A Produção Mais Limpa pode ser definida também como uma estratégia ambiental de caráter preventivo aplicada à realização de processos, produtos e serviços visando a minimização dos impactos ambientais e apoia-se em diferentes níveis de intervenção baseados em prioridades em função do maior ou menor nível de recuperação ou reaproveitamento dos resíduos gerados.

A Figura 1 apresenta os diferentes níveis de PMaisL. As alternativas de nível 1 consideradas de prioridade máxima, apontam no sentido de reduzir emissões e resíduos na fonte geradora, bem como eliminar ou reduzir a sua toxicidade. No segundo nível, as emissões e os resíduos que continuam a ser gerados devem ser reutilizados internamente na empresa. No nível 3 encontram-se os resíduos que não podem ser reaproveitados internamente. Para esta situação, a alternativa é a reciclagem externa, tendo como objetivo tratá-los com vistas à sua disposição final em um local seguro (BARBIERI, 2007).

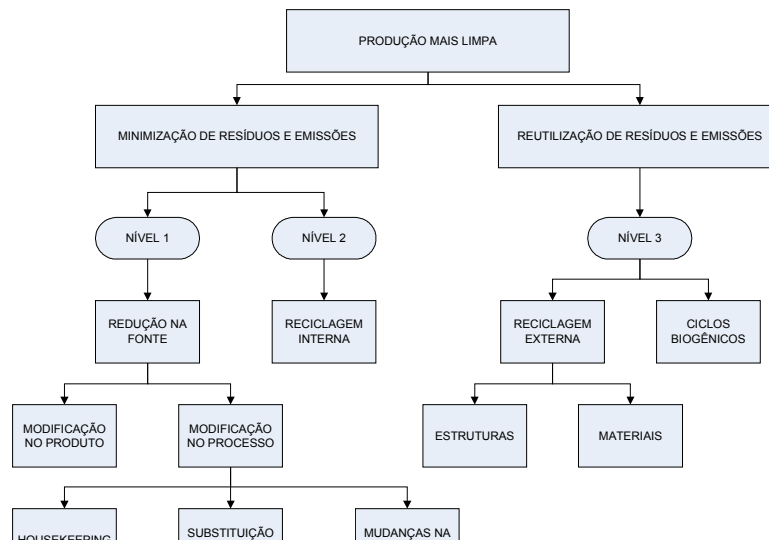


Fig. 1. Níveis de intervenção da Produção Mais Limpa (CNTL SENAI-RS, 1999, p.62)

De forma a proporcionar benefícios ambientais e econômicos para as empresas graças à redução dos impactos ambientais e do aumento da eficiência dos processos, a PMaisL estabelece as chamadas dezoito tarefas, realizadas de maneira sequencial, entre as quais inclui-se a chamada tarefa número 7 ou Tabelas Quantitativas. Consistena obtenção de dados e informações numéricas relativas às entradas e saídas dos processos, voltadas a matérias-primas, insumos, emissões e consumos energéticos. As informações serão utilizadas posteriormente, de forma real e/ou estimativa, na tarefa número 12 relativa à realização dos balanços de massa e energia e quantificação dos impactos ambientais.

Tais dados a serem utilizados nesta etapa devem ser levantados pelas empresas objetivando sempre uma maior qualidade e assertividade possíveis.

Assim, visando uma maior organização, assertividade, velocidade e qualidade na coleta de dados de Produção Mais Limpa por parte da empresa, recomenda-se a adoção de um formulário (i.e. questionário) adaptado para o segmento a que se direciona o estudo.

De forma análoga, a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida demanda ao levantamento de uma elevada quantidade de dados ambientais, os chamados conjuntos de dados de inventários de ciclo de vida ou ICV,sendoeste pré-requisito fundamental para a realização de estudos, elevando a credibilidade dos resultados de ACV (ALTHAUS, 2007).

Tendo em vista a necessidade de levantamento de dados de desempenho ambiental que possa ser utilizado independentemente da metodologia adotada na indústria metal mecânica, surge a necessidade de estabelecer um método de coleta e análise de dados direcionado às particularidades do segmento, sendo este o objetivo principal deste trabalho.

2. MÉTODO

Neste trabalho, o método adotado para a coleta de dados de desempenho ambiental tomou como referência a estrutura de processos apresentada no relatório do Ecoinvent do Centro Suíço para Inventários de Ciclo de Vida intituladoMetalsProcessingandCompressed Air Supplydescrito por FRISCHKNECHTet al. (2007),cuja estrutura dos processos e seleção do escopo para o inventário da fabricação de produtos metálicos são apresentados na Figura 2.



Fig. 2. Diagrama representando a estrutura de processos e seleção do escopo para o inventário da fabricação de produtos metálicos (Fonte: Ecoinvent MetalsProcessingandCompressed Air Supply – Data v2.0, 2007)

Para fins daquele estudo, o subprocesso intitulado “máquina para processamento de metais” foi suprimido do escopo em virtude da insuficiência (i.e. lacuna) de dados por parte dos fabricantes. Esta lacuna de dados incorre em um alto grau de incerteza ao inventário global em função da necessidade de adoção de estimativas grosseiras (FRISCHKNECHT et al., 2007).

Uma vez definidos os macro processos e subprocessos da fabricação de produtos metálicos, e as respectivas entradas e saídas em termos de matérias-primas, materiais auxiliares, energia, água, resíduos e emissões, a pesquisa foi conduzida considerando o escopo definido, sendo voltada à etapa de processamento de metais. Dentro do módulo intitulado *Metais*, foram estabelecidos os conjuntos de dados para cada um dos subprocessos definidos:

Anodização, Calandragem (em alumínio, bronze, ferro fundido, aço e aço cromo), corte convencional, corte a laser, deformação, desengraxe, dobra (em alumínio, bronze, ferro fundido, aço e aço cromo), esmaltação, estamparia, estanhagem, extrusão (em alumínio e aço); extrusão a quente (por impacto); fresagem (em alumínio, ferro fundido, aço e aço cromo), fundição, furação, laminação a quente, perfilação, pintura a pó, revestimentos seletivos, rosqueamento, solda, torneamento (em alumínio, bronze, ferro fundido, aço e aço cromo), tratamento de superfície, tratamento térmico, trefilação (em aço e cobre) e zincagem.

Cada conjunto de dados é composto de informações de entradas e saídas, subdivididas em:

a) Entradas conhecidas da esfera tecnológica (i. e. materiais/combustíveis); b) Entradas conhecidas da esfera tecnológica (i. e. eletricidade/calor); c) Emissões para o ar; d) Emissões para a água; e) Emissões para o solo; f) Saídas conhecidas da esfera tecnológica e g) Resíduos e emissões para tratamento.

Estas informações sobre entradas e saídas encontram-se identificadas por nomenclatura, quantidade, unidade e eventuais comentários.

De acordo com a Tabela 1, estabeleceu-se como critério adicional de corte selecionar as entradas (materiais/combustíveis), emissões para o ar, emissões para a água, resíduos e emissões para tratamento sujeitos a monitoramento dos órgãos ambientais nas três esferas de poder: federal, estadual e municipal por meio das resoluções CONAMA nº 357/05, CONAMA nº 3/90 E CONAMA nº 313/02 (i.e. identificadas na tabela pela letra “S” ou Sim). Considera-se assim que as entradas

contempladas por meio desta regra são aquelas que apresentam maior potencial de impacto ambiental resultante dos processos da indústria metal mecânica em consonância com a legislação ambiental brasileira e por este fato deverão ser considerados em um levantamento de impacto ambiental.

Convém salientar que, para os casos em que não seja possível determinar quantitativamente o material ou composto de entrada, seja pela dificuldade de caráter técnico ou pela insignificância quantitativa (i.e. abaixo dos valores mínimos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 357/05, CONAMA nº 3/90 E CONAMA nº 313/02), o dado poderá ser suprimido do estudo.

Complementarmente à Tabela 1 há uma coluna intitulada Categoria, a qual se refere ao tipo de Entrada/Saída (i.e. se MP/RI = Matérias-primas; E = Efluentes líquidos industriais; EA = Emissões Atmosféricas industriais; RO = Resíduos Orgânicos e RI = Resíduos Inorgânicos).

Tabela 1: Entradas (materiais/combustíveis), emissões para o ar, água, resíduos e efluentes presentes nos subprocessos da indústria metal-mecânica, de acordo com o módulo Inventário/Processos/Processamento/Metais do Ecoinvent e respectiva pertinência (S) às Resoluções do CONAMA. (Fonte: o autor).

Entradas (materiais/combustíveis)/Emissões para o ar/Emissões para a água/Resíduos e emissões para tratamento	Ocorrências	Categoria	RESOLUÇÃO	RESOLUÇÃO	RESOLUÇÃO
			CONAMA 357/05	CONAMA 3/90	CONAMA 313/02
Transporte (frete)	28	EA	N	S	N
Aço	19	MP/RI	N	N	S
Alumínio	17	MP/RI	N	N	S
Níquel	16	MP/RI	N	N	S
Chumbo	14	MP/RI	N	N	S
Cromo VI	12	E	S	N	N
DBO ₅	12	E	S	N	N
Ferro	12	MP/RI	N	N	S
Níquel iônico	12	E	S	N	N
Óleo mineral usado	12	RO	N	N	S
Material particulado > 2,5µm e < 10µm	11	EA	N	S	N
Cloretos	10	E	S	N	N
Cobre	10	MP/RI	N	N	S
COV não-metano	10	EA	N	S	N
Lodo	10	RO/RI	N	N	S
Zinco iônico	10	E	S	N	N
Cromo iônico	9	E	S	N	N
DQO	9	E	S	N	N
Zinco	9	MP/RI	N	N	S
Compostos químicos inorgânicos	8	EA/E	S	N	N
Manganês	8	E	S	N	N
Material particulado > 10µm	8	EA	N	S	N
Óxidos de nitrogênio	7	EA	N	S	N
Papelão corrugado (embalagem)	7	i	N	N	S
Aço cromo	6	MP/RI	N	N	S
Bronze	6	MP/RI	N	N	S
Cádmio	6	E	S	N	N
Ferro iônico	6	E	S	N	N
Resíduos sólidos aterro municipal	6	RO/RI	N	N	S
Serragem	6	i	N	N	S
Compostos químicos orgânicos	5	EA/E	S	N	N
Ferro fundido	5	MP/RI	N	N	S
Óleos e graxas	5	E	S	N	N
Sulfato de alumínio	5	E	S	N	N
Aço laminado	4	MP/RI	N	N	S
Dióxido de enxofre	4	EA	N	S	N
Fósforo	4	E	S	N	N
Mercurio	4	E	S	N	N
Monóxido de carbono	4	EA	N	S	N
Ozônio	4	EA	N	S	N
Pó de aço	4	RI	N	N	S
Sulfatos	4	E	S	N	N
Arsênico	3	E	S	N	N
Cádmio iônico	3	E	S	N	N
Papel kraft branqueado	3	i	N	N	S
Resíduos para incineração	3	RO	N	N	S
Carbeto de silício	2	i	N	N	S
Cobre iônico	2	E	S	N	N
Óxido de alumínio	2	RI	N	N	S
Papel kraft ã-branqueado	2	i	N	N	S
PEDB filme granulado	2	i	N	N	S
Poliétileno	2	i	N	N	S
Silica (areia)	2	i	N	N	S
Cavacos de madeira	1	RO	N	N	S
Efluente de revestimento de cromo negro	1	E	S	N	N
Fluoretos	1	E	S	N	N
Madeira não tratada	1	i	N	N	S
Madeira tratada	1	i	N	N	S
Rolo de aço laminado	1	MP/RI	N	N	S
Silício	1	i	N	N	S
Sulfato de sódio	1	E	S	N	N

Como resultado deste critério, tornou-se possível identificar qualitativamente os principais agentes potencialmente causadores de impacto ambiental relacionados aos subprocessos do processamento de metais e, por conseguinte, mais significativos da indústria metal-mecânica.

Este levantamento possibilitou estabelecer a base dos itens para a elaboração de um questionário a ser aplicado no sentido de inventariar de maneira indistinta e completa, os diversos processos e aspectos ambientais da indústria metal-mecânica.

2.1. Elaboração do Questionário

Baseado nas entradas e saídas relativas à fabricação de produtos metálicos apresentado na Tabela 1 elaborou-se um questionário intitulado Questionário para Avaliação de Produtos na Indústria Metal-Mecânica o qual está dividido nos seguintes tópicos:

1. Informações Gerais, contendo os campos: Nome da Empresa, pessoa de contato, e-mail, telefone, início da coleta, término da coleta e planta;
2. Tecnologia, contendo os campos: Quais das seguintes tecnologias são usadas pela empresa: alargamento, anodização, aplainamento, brochamento, calandragem, corte a Laser, corte convencional, deformação, desengraxamento, dobra, esmaltação, estamparia, estanhagem, extrusão, fresagem, fundição, laminação, perfilação, pintura a pó, retificação, revestimento seletivo, serramento, solda (arco), solda (gás), tratamento térmico, trefilação, usinagem CNC, furação, rosqueamento, torneamento convencional, zincagem, tratamentos de superfície;
3. Uso do solo, contendo os campos: Área total da empresa, área construída da empresa utilizada para as atividades produtivas, área construída da empresa utilizada para as atividades não-produtivas, área verde da empresa e área pavimentada da empresa;
4. Volume de produção e venda (incluindo também subprodutos);
5. Fluxogramas de processo (processos relativos aos dados);
6. Entradas:
 - 6.1. Matérias-primas, com os campos: nome/fórmula, quantidade total, unidade e comentários;
 - 6.2. Materiais Auxiliares, com os campos: nome/fórmula, quantidade total, unidade e comentários, para ar comprimido, solventes, lubrificantes, ácido clorídrico, óleo lubrificante, hidróxido de sódio;
 - 6.3. Materiais de embalagem, com os campos: nome/fórmula, quantidade total, unidade e comentários;
 - 6.4. Entradas de energia, com os campos: quantidade total e unidade, para eletricidade (concessionária), eletricidade (geradores), eletricidade (co-geração) e vapor;
 - 6.5. Combustíveis Fósseis, com os campos: quantidade total e unidade, para gás natural, óleo combustível pesado, óleo combustível leve, óleo diesel e outros;
 - 6.6. Combustíveis de Fontes Renováveis, com os campos: quantidade total e unidade, para carvão vegetal, biocombustíveis e outros;
 - 6.7. Energia Vendida, com os campos: quantidade total e unidade, para eletricidade e vapor;
7. Resíduos e Emissões, subdivididos em:
 - 7.1. Emissões Atmosféricas, com os campos: nome/fórmula, unidade, emissões anuais, descrição do dado e comentários para material particulado entre 2,5 e 10µm, material particulado acima de 10µm, COV não-metano, óxidos de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e ozônio;
 - 7.2. Resíduos, subdividido em resíduos orgânicos e resíduos inorgânicos, com os campos: nome/fórmula, unidade, emissões anuais, descrição do dado e destinação;

8. Entradas e Saídas de Água:

8.1. Entradas de água, com os campos: tipo, volume total e unidade, para água subterrânea, água superficial e água da rede;

8.2. Saídas de água, com os campos: tipo, volume total e unidade, para água não poluída e água poluída;

8.3. Emissões para a água:

8.3.1. Tratamento de água, com os campos: tratamento interno de água, planta externa e sem tratamento;

8.3.2. Planta de tratamento, com os campos: somente físico, físico-químico, biológico (aeróbio) e biológico (anaeróbio);

8.3.3. Indicadores de tratamento, com os campos: cromo VI, DBO₅, níquel iônico, cloretos, zinco iônico, cromo iônico, DQO, compostos químicos inorgânicos, manganês, cádmio, ferro iônico, compostos químicos orgânicos, óleos e graxas, sulfato de alumínio, fósforo, mercúrio, sulfatos, arsênico, cádmio iônico, cobre iônico, efluente de revestimento de cromo negro, fluoretos, sulfato de sódio;

9. Transporte, com os campos: Material, Quantidade, Meio de transporte, Carga (%), Tipo/Tamanho, Tipo de combustível, Distância (Km) e Comentários.

2.2. Coleta dos Dados

A coleta dos dados *in-loco* foi executada tomando-se como base empresas do setor metal mecânico lotadas na Região Metropolitana de Curitiba, Paraná e que apresentassem processos produtivos distintos e complementares de forma a substanciar a geração da base de dados. As coletas foram realizadas ao longo dos anos de 2010 e 2011 utilizando-se do *Questionário para Avaliação de Produtos na Indústria Metal-Mecânica*.

2.3. Análise dos dados

Os dados coletados são analisados por meio de uma avaliação qualitativa dos indicadores de qualidade chamada matriz Pedigree (WEIDEMA et al., 1996), de forma a promover a obtenção dos resultados e nível de confiabilidade. Na matriz Pedigree os indicadores de qualidade dos dados recebem uma pontuação de 1 a 5, sendo que 1 representa o melhor grau de qualidade e 5 o pior, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Matriz Pedigree para avaliação da qualidade dos dados obtidos (Weidema et al., 1996).

Pontuação do indicador	1	2	3	4	5	Observação
Confiância na fonte	Dados verificados baseados em medidas	Dados verificados parcialmente baseados em estimativas ou dados não verificados baseados em medidas	Dados não verificados parcialmente baseados em estimativas qualificadas ou informações teóricas	Estimativa qualificada (p. ex. perito industrial); dados derivados de informações teóricas (estequiometria, entalpia, etc)	Estimativa não qualificada	Dados verificados: publicados em relatórios ambientais públicos de empresas, estatísticas oficiais, etc. Dados não verificados: informação pessoal por carta, fax ou e-mail.
Completeza	Dados representativos de todos os locais relevantes para o mercado considerado e com período adequado para compensar flutuações	Dados representativos de > 50% dos locais relevantes para o mercado considerado com períodos adequados para compensar flutuações normais	Dados representativos de somente alguns locais (< 50%) relevantes para o mercado considerado ou > 50% dos locais mas com períodos curtos	Dados representativos de apenas um local representativo para o mercado considerado ou alguns locais com períodos curtos	Representatividade desconhecida ou dados de um pequeno número de locais e períodos curtos	O período de tempo adequado depende do processo/tecnologia
Número de amostras	> 100, medidas contínuas	> 20	> 10, dados agregados em relatórios ambientais	≥ 3	desconhecido	Tamanho da amostra relatada na fonte de informação
Correlação temporal	Menos de 3 anos de diferença para o ano de estudo	Menos de 6 anos de diferença	Menos de 10 anos de diferença	Menos de 15 anos de diferença	Idade do dado desconhecida ou mais de 15 anos de diferença	
Correlação geográfica	Dados da área em estudo	Dados médios da grande área na qual a área sob estudo está incluída	Dados de uma área menor que a área do estudo ou de área similar	---	Dados de área desconhecida ou área com muita diferença nas condições de produção	Similaridade expressa em termos da legislação ambiental: sugestão para agrupamento: América do Norte e Austrália; União Europeia, Japão e África do Sul; América do Sul, África Central e Norte e Oriente Médio, Rússia, China e Ásia
Correlação tecnológica	Dados de empreendimento, processos e materiais em estudo (p. ex: tecnologia idêntica)	---	Dados de processos ou materiais relacionados mas com mesma tecnologia ou dados de processos e materiais em estudo mas de diferente tecnologia	Dados de processos ou materiais em estudo mas tecnologias diferentes ou dados em processos em escala laboratorial de mesma tecnologia	Dados de processos ou materiais relacionados, mas em escala laboratorial de diferente tecnologia	Exemplo de diferentes tecnologias: turbina a vapor x motor de propulsão; Exemplo de processos: dados de infraestrutura de refinaria para infra-estrutura de plantas químicas

Desta forma, a composição da pontuação atribuída à qualidade dos dados coletados na empresa é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3: Composição da pontuação atribuída à qualidade dos dados coletados na empresa com base na Matriz Pedigree (Weidemaet al., 1996).

Indicador	Pontuação atribuída
Confiança na fonte	3
Completeza	2
Número de amostras	5
Correlação temporal	1
Correlação geográfica	2
Correlação tecnológica	1

Em função da pontuação de cada indicador atribui-se um fator de incerteza relativo à qualidade dos dados, de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4: Fatores de incerteza aplicados à pontuação da Matriz Pedigree (Althaus et al, 2007).

Pontuação do indicador	1	2	3	4	5
Confiança na fonte	1,00	1,05	1,10	1,20	1,50
Completeza	1,00	1,02	1,05	1,10	1,20
Número de amostras	1,00	1,02	1,05	1,10	1,20
Correlação temporal	1,00	1,03	1,10	1,20	1,50
Correlação geográfica	1,00	1,01	1,02	---	1,10
Correlação tecnológica	1,00	---	1,20	1,50	2,00

Os fatores de incerteza obtidos para cada indicador são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Fatores de incerteza relacionados a cada indicador da qualidade dos dados (Althaus et al, 2007).

Indicador	Fator de Incerteza (U_i)
Confiança na fonte (U_1)	1,05
Completeza (U_2)	1,02
Número de amostras (U_3)	1,20
Correlação temporal (U_4)	1,00
Correlação geográfica (U_5)	1,01
Correlação tecnológica (U_6)	1,00

A título de exemplificação, utilizaram-se os dados levantados em uma empresa metal mecânica apresentados na Tabela 6:

A pontuação do indicador para a avaliação global dos dados coletados na empresa é obtida em função do grau de qualidade atribuído aos dados, com base na Matriz Pedigree.

O grau de incerteza para o aspecto ambiental global dos conjuntos de dados avaliado com intervalo de 95% (i.e. SD_{95}) pode ser calculado com base na eq. 1:

$$SD_{95} = \exp \{ [\ln(U_1)]^2 + [\ln(U_2)]^2 + [\ln(U_3)]^2 + [\ln(U_4)]^2 + [\ln(U_5)]^2 + [\ln(U_6)]^2 + [\ln(U_b)]^2 \}^{1/2} \quad (1)$$

Onde: SD_{95} = Grau de incerteza com intervalo de 95%; U_1 = fator de incerteza do indicador Confiança na fonte; U_2 = fator de incerteza do indicador Completeza; U_3 = fator de incerteza do indicador Número de amostras; U_4 = fator de incerteza do indicador Correlação Temporal; U_5 = fator de incerteza do indicador Correlação Geográfica; U_6 = fator de incerteza do indicador Correlação Tecnológica; U_b = fator

de incerteza básico aplicado para o presente caso de emissões de processos, para demanda de energia elétrica, produtos acabados e serviços de tratamento de resíduos = 1,05. Desta forma, o valor obtido para SD_{95} é de **1,30**

De acordo com BENEDET JUNIOR (2007), para uma dada pontuação de SD_{95} , os dois primeiros algarismos significativos após a vírgula representam o percentual de incerteza. Para o presente caso considera-se um valor de 30% de incerteza para o aspecto ambiental global avaliado no processo.

3. Resultados

3.1. Levantamento dos conjuntos de dados

A coleta de dados realizada nos processos em uma empresa resultou nos conjuntos de dados relativos às entradas e saídas dos processos, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Dados relativos às entradas e saídas dos processos, coletados em uma empresa metal mecânica, referência 2010.

Processos	Entradas					Saídas			
	Energia Elétrica (KWh/ano)	Aço (Kg/ano)	Alumínio (Kg/ano)	Óleo lubrificante (Kg/ano)	Estopa (Kg/ano)	Ar comprimido (m ³ /ano)	Rejeitos (aço, Kg/ano)	Rejeitos (AÉ, Kg/ano)	Estopa (Kg/ano)
Processo de calandragem (aço, AÉ)	Manual	1959,55	1280,90	-	-	-	78	51	-
Processo de corte convencional (aço)	287,63	7348,31	-	-	-	-	294	-	-
Processo de corte convencional (AÉ)	188,01	-	4803,37	-	-	-	-	192	-
Processo de dobra (aço, AÉ)	Manual	2939,33	1921,35	-	-	-	176	115	-
Processo de estamparia (aço)	174,32	1469,66	-	-	-	-	44	-	-
Processo de estamparia (AÉ)	113,95	-	960,67	-	-	-	-	29	-
Processo de fresagem (aço)	1016,87	4898,88	-	22	22	3286	490	-	22,40
Processo de fresagem (AÉ)	664,70	-	3202,25	14	15	2148	-	320	14,64
Processo de furação (aço)	719,07	7348,31	-	33	34	4929	1102	-	33,60
Processo de furação (AÉ)	470,04	-	4803,37	22	22	3222	-	721	21,96
Processo de rosqueamento (aço)	431,44	7348,31	-	33	34	4929	1102	-	33,60
Processo de rosqueamento (AÉ)	282,02	-	4803,37	22	22	3222	-	721	21,96
Processo de torneamento convencional (aço)	7321,45	6858,43	-	31	31	4601	1440	-	31,36
Processo de torneamento convencional (AÉ)	4785,81	-	4483,15	20	20	3007	-	941	20,50
Tratamento de Superfície (aço)	3050,60	3429,21	-	-	-	2300	514	-	-
Tratamento de Superfície (AÉ)	1994,09	-	2241,57	-	-	1504	-	336	-
TOTAIS	21024,36	31352,81	20494,38	197	200	33150	4693	3068	200,00

3.2. Verificação dos dados

Para a verificação dos dados, podem-se adotar os seguintes procedimentos: avaliação cruzada com outros conjuntos de dados, avaliação cruzada com outras fontes, balanço de elementos químicos, balanço de energia, balanço de massa, avaliação especialista, re-cálculo e validação das matérias-primas (SICV Brasil, 2009).

No presente estudo, a verificação qualitativa dos dados foi realizada com base em balanços de massa. Esta etapa é fundamental para evidenciar se nenhum dado foi negligenciado, subdimensionado ou superdimensionado. Para cada um dos subprocessos, realizou-se o chamado balanço material que consiste em um levantamento de todas as entradas e saídas conhecidas para um dado processo, expressos em uma unidade comum (quilograma, litro, metros cúbicos, quilowatts-hora) relativos a um período específico, sendo que no presente estudo adotou-se o período de 12 (doze) meses. A premissa do balanço material é de que o somatório de todas as entradas ao longo do período tenha correspondência quantitativa com as respectivas saídas como demonstrado na tabela 7, na qual se utilizou como exemplo o processo denominado Torneamento Convencional. Cabe salientar que a maioria das entradas constantes da tabela 1 não são aplicáveis a este processo ou não foram relacionadas em função de incapacidade técnica de determinação dos dados. A título de exemplo, considera-se que não houve perda de massa de óleo lubrificante (i.e. óleo mineral) relativos a este insumo face à dificuldade de determinação de quantidade deste resíduo perdidas por evaporação.

Tabela 7: Balanço material para o processo de torneamento convencional de aço, contemplando as entradas e saídas.

Processos	Entradas						Saídas								
	Energia Elétrica (KWh/ano)	Aço (Kg/ano)	Alumínio (Kg/ano)	Óleo lubrificante (l/ano)	Estopa (Kg/ano)	Ar comprimido (m ³ /ano)	Consumo de energia elétrica do equipamento (KWh/ano)	Perdas de calor (KWh/ano)	Perdas de calor (GJ/ano)	Ar comprimido (m ³ /ano)	Peça usinada (Kg/ano)	Rejeitos (aço, Kg/ano)	Rejeitos (AÉ, Kg/ano)	Estopa (Kg/ano)	Óleo lubrificante usado (l/ano)
Processo de torneamento convencional (aço)	7321,45	6858,43	-	30,85	31,36	4600,80	7321,12	0,3275	1,179E-03	4600,80	5418,16	1440,27	-	31,36	30,85

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método proposto no presente artigo possibilitará sua utilização em distintos métodos de melhoria e avaliação de desempenho ambiental tais como Produção Mais Limpa, Avaliação de Ciclo de Vida e levantamento de aspectos e impactos ambientais em implantação de sistemas de gestão ambiental e processos de certificação ISO 14001. A aplicação efetiva de um método de coleta de dados em forma de questionário, sendo este elaborado considerando as características e especificidades dos processos da indústria metal mecânica, possibilitará a este segmento uma maior confiabilidade e assertividade no que tange à identificação e direcionamento da mitigação de seus aspectos e impactos ambientais relacionados à suas emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos decorrentes de seus processos produtivos. O exemplo prático apresentado evidenciou que a aplicação de um método para coleta e análise de dados para avaliação de desempenho ambiental da indústria metal mecânica possibilitou determinar os principais insumos, matérias-primas, uso de energia em diferentes fontes, água e resíduos dos processos, permitindo o direcionamento dos esforços visando estabelecer medidas mitigadoras mais eficazes de impacto ambiental.

REFERÊNCIAS

ALTHAUS H. et al. **Ecoinvent Report nº1: Overview and Methodology**. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Dübendorf, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001:2004. Normas de Sistema de Gestão Ambiental**.

BARBIERI, José Carlos. **Gestão Ambiental Empresarial: Conceitos, Modelos e Instrumentos**. 2 Ed. São Paulo: Saraiva, 2007. p. 134-137.

BENEDET JUNIOR, G. **Avaliação de Incertezas em Inventários de Ciclo de Vida**. 2007. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS). **Guia da Produção Mais Limpa**. Disponível em: <www.cebds.com.br> Acesso em 15 de novembro de 2011

FRISCHKNECHT, Rolf; STEINER, Roland. **Metals Processing and Compressed Air Supply Data v2.0**. Ecoinvent Report No. 23, ESU Services Ltd., 91 p.; 2007.

PROJETO SICV BRASIL “Sistema de Inventários de Ciclo de Vida Brasil”. **Metodologia Padrão para Elaboração de Inventários de Ciclo de Vida da Indústria Brasileira – Documento Consolidado**. 228 p. 2009.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/>> Acesso em: 15 de novembro de 2011.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 3/90 – Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente que estabeleceu os Padrões Nacionais de Qualidade do Ar.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 237/97 – Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente que regulamenta os aspectos de licenciamento ambiental estabelecidos na política nacional do meio ambiente, art. 1º, 1.

RESOLUÇÃO CONAMA nº 357/05 – Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente que estabeleceu os Padrões Nacionais de Classificação das Águas.

WEIDEMA B. P.; WESNAES M. S. **Data Quality Management for Life Cycle Inventories - An Example of Using Data Quality Indicators**. Journal of Cleaner Production 4(3-4): 167-174. 1996.