

ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL POR MEIO DO MAPEAMENTO DOS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO, ARMAZENAGEM E COMERCIALIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE UMA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA EM SÃO PAULO

AURO DE JESUS CARDOSO CORREIA
UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

ROBERTO RODRIGUES LEITE
UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

GERSON BARBOSA MATZEMBACKER OLIVEIRA
UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO UNINOVE

GERALDO CARDOSO DE OLIVEIRA NETO
UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

ANÁLISE ECONÔMICA E AMBIENTAL POR MEIO DO MAPEAMENTO DOS PROCESSOS DE SEPARAÇÃO, ARMAZENAGEM E COMERCIALIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS DE UMA INDÚSTRIA METAL MECÂNICA EM SÃO PAULO

1. INTRODUÇÃO

Nos processos industriais de usinagem, a aplicação do aço e do ferro fundido para a fabricação de peças e equipamentos, relaciona-se aos materiais mais utilizados na indústria metal mecânica. Dentre as vantagens de uso destes materiais, destaca-se a capacidade de reutilização dos mesmos, pois os resíduos metálicos gerados podem retornar à cadeia primária de produção, desde que sejam reciclados adequadamente. A capacidade de processamento desses materiais quando convertidos em matérias-primas pode ser uma garantia para a viabilidade de ganhos econômicos, além da mitigação da extração de recursos naturais da natureza (MICHAELIS; JACKSON, 2000).

Por outro lado, embora os processos de usinagem sejam de muita importância para a indústria metal mecânica, os mesmos não são considerados processos limpos, devido às dificuldades para a eliminação dos detritos gerados. Diante ao exposto, destaca-se a necessidade do desenvolvimento de estratégias inovadoras para que se possa usufruir destes detritos metálicos, promovendo-se ao mesmo tempo, ganhos ambientais e econômicos (BYRNE; SCHOLTA, 1993).

No que compete às questões legislativas, há de se destacar a Lei 12.305, de 02 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos “PNRS”. A mesma inclui os resíduos metálicos ferrosos e não ferrosos, categorizando-os como de “Classe II A”, não inerte. A Lei retrata a obrigação da destinação correta, por meio da responsabilidade compartilhada entre os integrantes que se encontram envolvidos junto à cadeia produtiva, visando-se a contribuição de questões pertinentes a aspectos econômicos e ambientais (BRASIL, 2010).

Em concordância ao exposto, denota-se a importância do gerenciamento adequado para estes tipos de resíduos por meio de processos logísticos apropriados. Nos termos conceituais da logística reversa, de acordo com os autores Rogers e Tibben-Lembke (1998), a mesma é compreendida como os processos de planejamentos, implementações e controles sob matérias-primas, produtos acabados, descartados ou rejeitados, de modo que se possa dar uma destinação final ambientalmente adequada, ou o retorno dos mesmos aos ciclos dos negócios, junto às cadeias produtivas.

Em relação à literatura científica, denota-se a carência de estudos, com propósito do correlacionamento entre avaliações econômicas e ambientais, sob o uso de ferramentas de ecoeficiência nas empresas do segmento da indústria metal mecânica.

Com base ao explanado, este trabalho tem por objetivo realizar o levantamento dos detritos de cavacos metálicos gerados nos processos de usinagem de uma indústria multinacional em São Paulo.

Em específico, procurou-se avaliar e mensurar os ganhos ambientais e econômicos por meio do mapeamento dos processos de separação, armazenagem e comercialização dos resíduos metálicos industriais, que foram implementados pela empresa multinacional.

As demais etapas do presente estudo científico, encontram-se compostas pela revisão da literatura, metodologia de pesquisa, estudo de caso, resultados e conclusões.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Com a finalidade de apresentar os conceitos pertinentes à revisão da literatura, realizou-se nesta seção as abordagens dos seguintes temas: A Indústria Metal Mecânica e a

Representatividade dos Processos de Usinagem; A Reciclagem de Resíduos Industriais e a Perspectiva de Aspectos Ambientais e Econômicos.

2.1 A Indústria Metal Mecânica e a Representatividade dos Processos de Usinagem

A usinagem na indústria metal mecânica é colocada entre os mais significativos processos de fabricação para a produção de bens de capital, exigindo-se os mais elevados padrões de requisito técnico. Os segmentos industriais que utilizam os processos de usinagem são categorizados como os principais geradores de detritos metálicos. Estes resíduos podem ocasionar riscos e degradações ao meio ambiente. Diante disso, há a necessidade de que os segmentos industriais do ramo contribuam com práticas estratégicas para a mitigação dos riscos ambientais. No entanto, essas práticas não são comumente implementadas na maioria das indústrias do setor (ROCHA; MORAES; BASTOS, 2015).

Na indústria metal mecânica, o aço é o material comumente utilizado para a produção de peças e equipamentos por meio dos processos de usinagem. As ligas de aço têm sido aplicadas, buscando-se maiores desempenhos técnicos, além da possibilidade de prover maiores ganhos econômicos com menores impactos ambientais. Em vista disso, muitos pesquisadores têm se esforçado ao longo dos anos, buscando-se desenvolver técnicas de usinagem para o aumento da produtividade e a diminuição de efeitos degradantes ao meio ambiente, pois os processos de usinagem, conseqüentemente são fontes geradoras de resíduos (TANAKA et. al., 2007).

2.2 A Reciclagem de Resíduos Industriais e a Perspectiva de Aspectos Econômicos e Ambientais

Conforme os autores Yang, Hong e Modi (2011), os processos industriais da indústria metal mecânica devem manter a relação direta com a mitigação de perdas ambientais e ações que buscam o aumento da eficiência econômica. Os autores enfatizam, que a indústria precisa se reinventar, procurando melhorar significativamente suas atividades a fim da obtenção consistente de ganhos ambientais e econômicos.

De acordo com Gianneti e Almeida (2006), toda ação industrial relacionada com aspectos financeiros e ambientais que visam a redução de desperdícios, quer seja de matéria-prima, energia ou redução de resíduos gerados, como consequência, deve-se estender a produtividade, além do acréscimo de benefícios econômicos.

Segundo os autores Powel e Craighill (1997), a reciclagem correta e o reuso de materiais em uma planta produtiva, não promove apenas a mitigação de impactos ambientais, promove também o aumento na eficiência dos processos produtivos, o que conseqüentemente gera economia para toda a planta industrial.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

Classifica-se a presente pesquisa como de natureza empírica, aplicada com o propósito de conseguir informações nas circunstâncias da vida real, especialmente quando os fenômenos não se apresentam claramente definidos em sua totalidade (YIN, 2010).

Na perspectiva da abordagem, a pesquisa é quantitativa, visto a predominância de variáveis mensuráveis no presente estudo. Além disso, trata-se de uma pesquisa de caráter exploratório, indicada por Sellttiz et. al., (1974) como uma das etapas iniciais, quando a compreensão do tema em estudo não permite considerar conclusões globais absolutas.

O método adotado refere-se ao estudo de caso, aplicado em uma empresa multinacional que se encontra instalada em São Paulo. Segundo o autor Yin (2010), o estudo de caso permite aos pesquisadores a obtenção de uma ampla visão do cenário envolvido na fonte de pesquisa,

além de tornar explícita as informações de natureza empírica, diante dos fenômenos contemporâneos.

Para a coleta de dados, obteve-se o acesso a dados documentais junto à empresa multinacional, além de observações em sua linha de produção, onde foi possível compreender o funcionamento das atividades de usinagem para a fabricação de peças e equipamentos, além da consequente geração de resíduos metálicos.

A fim de viabilizar a análise econômica, buscou-se averiguar os valores de venda dos diferentes tipos de resíduos metálicos em um período relativo a 12 meses. Além disso, procurou-se apurar as despesas anuais envolvidas nos processos de separação e armazenagem dos resíduos gerados, tais como: custos com recursos humanos; custos com transportadores de resíduos; custos com manutenções da área. Por conseguinte, pôde-se mensurar o ganho econômico.

Salienta-se que, os cálculos de avaliação ambiental e econômica foram baseados em Oliveira Neto et. al., (2010), aplicando-se a ferramenta de ecoeficiência, denominada Mass Intensity Factors - MIF, além da comparação do ganho ambiental e econômico por meio do “índice de ganho ambiental” – IGA e o “índice de ganho econômico” – IGE, conforme apresentado na tabela 1.

Tabela 1: Descrição da Metodologia para a Avaliação Ambiental e Econômica

Metodologia Utilizada no Estudo da Avaliação Ambiental e Econômica	
Levantamento de Dados	<ul style="list-style-type: none"> Levantamento da quantidade de resíduos e emissões a serem reduzidos e/ou eliminados e/ou reusados e/ou reciclados e/ou remanufaturados, denominados Massa (M). Desenvolvimento do balanço de massa para detalhar os materiais, componentes e calcular o Material Total Economizado (MTE).
Avaliação Econômica	<ul style="list-style-type: none"> Quantificar as receitas e os custos constatados no levantamento de dados para identificar, se ocorreu ganho econômico (GE) para a empresa.
Avaliação Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Avaliar o ganho ambiental por meio da ferramenta Mass Intensity Factors (MIF), considerando a Massa (M) e o Intensity Factors (IF). $MIF = (M \times IF) \quad \leftarrow \text{Eq. 1}$ Avaliar o Mass Intensity per Compartments (MIC), que mensura a redução do impacto ambiental por compartimento abiótico (w), biótico (x), água (y), ar (z) e outros (n...). $*MIC = (IF \text{ resíduo A do compartimento w} + IF \text{ resíduo B do compartimento w} + IF \text{ resíduo C do compartimento w} + IF \text{ resíduo n do compartimento w}) \quad \leftarrow \text{Eq. 2}$ Avaliar o Mass Intensity Total (MIT), contabilizando a redução de impacto total, quando somados aos MICs. $*MIT = (MICw + MICx + MICy + MICz + MICn...) \quad \leftarrow \text{Eq. 3}$
Comparação do Ganho Econômico e Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> Comparar o ganho econômico (GE) com o ganho ambiental (GA) para verificar o índice do ganho econômico (IGE) e o índice do ganho ambiental (IGA). $IGE = (MTE/GE) \quad \leftarrow \text{Eq. 4}$ $IGA = (MIT/GE) \quad \leftarrow \text{Eq. 5}$

Fonte: Os Autores

Há de se destacar, que o Mass Intensity Factors – MIF, refere-se a um método desenvolvido pelo “Instituto Wuppertal” da Alemanha, que possibilita a avaliação de impactos ambientais em relação ao dispêndio dos componentes ou materiais abióticos, bióticos, água e ar, os quais são agrupados em compartimentos distintos (RITTHOFF et. al., 2003).

A tabela 2 apresenta os materiais utilizados na presente pesquisa, junto aos seus respectivos fatores (MIF) em cada um dos compartimentos específicos.

Tabela 2: Material Intensity Factors

Nome	Abiótico	Biótico	Água	Ar
Ferro	21,58		504,86	5,07
Aço	9,42		75,38	0,65

Fonte: Wuppertal Institute, 2014

4. ESTUDO DE CASO

Para a efetivação da presente pesquisa, o estudo de caso foi realizado em uma empresa multinacional fornecedora de bens de capital para a indústria papelreira. No que concerne aos processos de fabricação para a produção de máquinas, aplicados pela multinacional, o segmento de usinagem é uma das principais atividades empregadas pela mesma, permitindo-se fabricar peças e equipamentos nos mais altos padrões de requisitos técnicos de projetos sob encomenda, enquadrando-se como clientes, empresas brasileiras e estrangeiras.

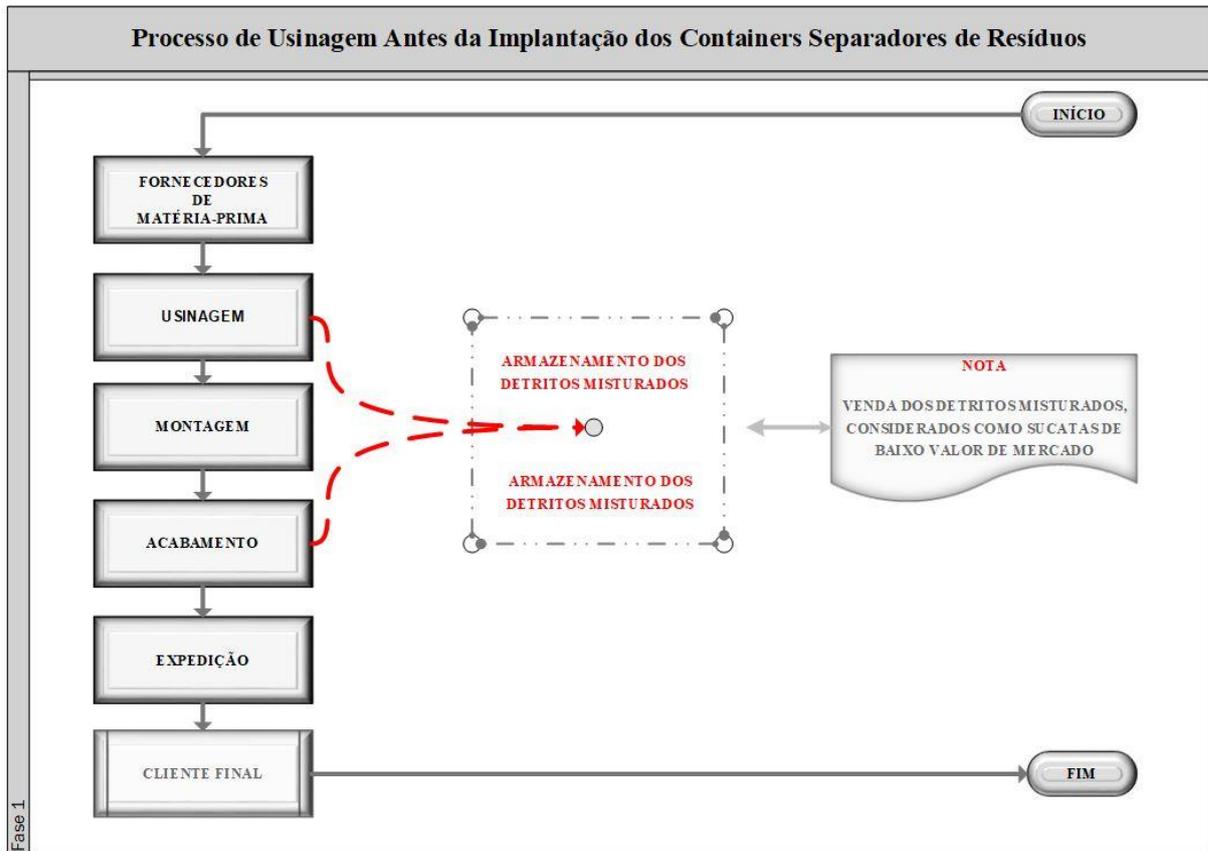
Em relação às coletas de dados, efetuou-se observações na linha de produção da multinacional, em específico buscando-se compreender como se conduzia as atividades de usinagem para a fabricação de peças e equipamentos da mesma, além de acessos a dados documentais.

Nas coletas de informações, pôde-se constatar que a linha de produção pertinente à usinagem é compartilhada para a fabricação de peças de ferro fundido, além de peças que utilizam a matéria-prima referente ao aço. Além disso, as matérias-primas (ferro fundido e aço) são adquiridas de fornecedores distintos.

Por conseguinte, pôde-se constatar que o principal problema enfrentado pela linha de produção, diz respeito a não separação de resíduos gerados nos processos de usinagem, os quais resultam na mistura de cavacos de aço e ferro fundido em enormes quantidades.

A figura 1 representa como se conduzia o funcionamento dos processos de usinagem para a fabricação de peças e a geração dos resíduos na linha de produção da indústria. Iniciava-se os processos com a aquisição da matéria-prima dos fornecedores, na sequência as peças passavam pelas etapas de usinagem, montagem, acabamento e expedição dos produtos finalizados, os quais eram direcionados aos seus clientes finais. No entanto, os resíduos gerados nas etapas de usinagem e acabamento, que se referem a detritos constituídos de cavacos de ferro fundido e aço, conseqüentemente eram armazenados nas proximidades da linha de produção, os quais ficavam misturados, sendo os mesmos posteriormente comercializados como sucatas de baixo valor de mercado.

Figura 1: Processos de Usinagem Antes da Implantação dos Containers



Fonte: Os Autores

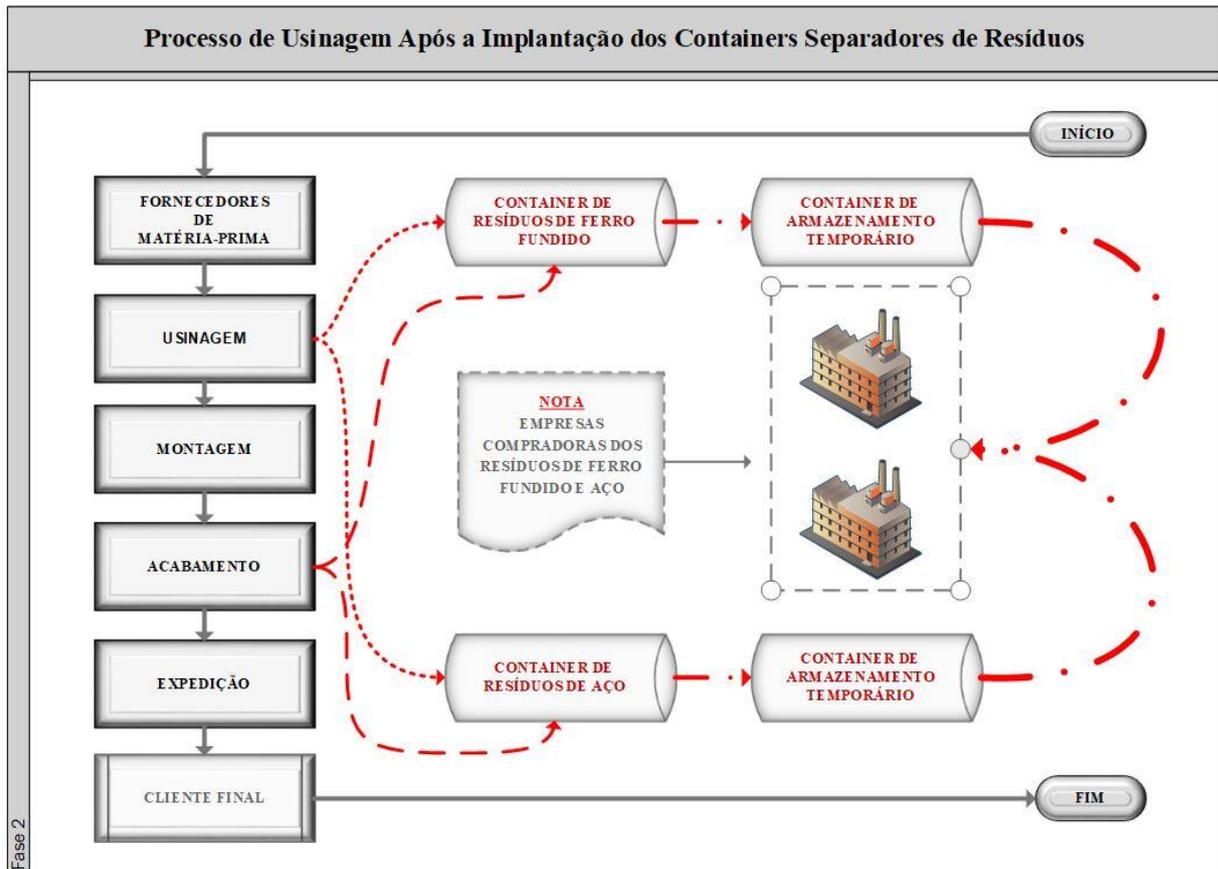
Diante das informações explicitadas, em um segundo momento, a direção da multinacional procurou investir em mudanças nos processos da linha de usinagem, implementando novos procedimentos para a separação dos detritos gerados.

Em razão do grande porte de peças e equipamentos, além do alto volume de produção nas etapas de usinagem, houve a necessidade da aquisição de containers de 60 m³ para a armazenagem dos resíduos gerados.

Os principais objetivos da aquisição dos containers, referem-se à armazenagem separada dos detritos de aço e ferro fundido, além da transferência destes resíduos para outros containers com a função de armazenagem temporária, até que sejam coletados por empresas distintas, uma compradora de cavacos de aço e a outra de cavacos de ferro fundido, sendo esta última, classificada como uma das fornecedoras de matéria-prima para a multinacional.

A figura 2 representa os processos de usinagem após a implantação dos containers separadores de resíduos. Conforme ilustrado, o processo é desencadeado, iniciando-se com a aquisição da matéria-prima, na sequência as peças são produzidas por meio da usinagem, montagem, acabamento e destinação final aos clientes que adquirem os produtos sob encomenda. No entanto, os detritos metálicos gerados (cavacos de ferro fundido e cavacos de aço), agora são separados em containers diferenciados, seguindo-se cada qual, ao seu respectivo container temporário, sendo posteriormente retirados pelas empresas compradoras com a função de reciclar estes materiais, transformando-os em matérias-primas a fim de retornarem ao mercado para a produção de novas peças e equipamentos.

Figura 2: Processo de Usinagem Após a Implantação dos Containers



Fonte: Os Autores

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção apresenta-se os resultados do estudo de caso em termos de avaliação econômica, avaliação ambiental, além da comparação entre as vantagens econômicas e ambientais obtidas por meio da separação, armazenagem e comercialização dos resíduos metálicos gerados nos processos pertinentes às etapas usinagem da indústria.

5.1 Avaliação Econômica com a Separação, Armazenagem e Comercialização dos Resíduos Metálicos Gerados nos Processos de Usinagem da Indústria em Estudo

Para a realização da avaliação econômica perante os dados permitidos pela empresa em termos de divulgação, apurou-se os valores de vendas dos resíduos (cavacos de ferro fundido e resíduos de cavacos de aço). O primeiro no valor de R\$ 1.590.000,00 e o segundo no valor de R\$ 143.208,00, somando-se na receita bruta anual, o total de R\$ 1.733.208,00.

Em termos de custos relacionados à implementação dos novos processos, averiguou-se os seguintes custos anuais: recursos humanos, transportadores de resíduos e manutenções da área, contabilizando-se o valor de R\$ 110.000,00.

Neste sentido, foi possível mensurar a receita líquida recebida pela indústria com a comercialização dos resíduos de cavacos metálicos, atingindo-se o valor de R\$ 1.623.208,00.

Enfatiza-se que, antes da implementação dos novos processos (separação, armazenagem e comercialização dos detritos), a indústria comercializava os detritos metálicos misturados, no valor de R\$ 0,30/kg.

Entretanto, após os processos de separação, armazenagem e comercialização dos resíduos de ferro fundido e aço, os valores de venda dos mesmos atingiram os respectivos valores de R\$ 0,50/Kg e R\$ 0,65/Kg.

A tabela 3 apresenta a vantagem econômica anual, após a implementação dos novos processos de separação, armazenagem e comercialização dos resíduos de cavacos metálicos.

Tabela 3: Vantagem Econômica Anual

VANTAGEM ECONÔMICA ANUAL		
Descrição dos Resíduos Gerados na Indústria	Valor de Venda / Kg	Valores Adquiridos Por Tipo de Resíduo (Anual)
Resíduos no Formato de Cavacos de Ferro Fundido	R\$ 0,50/kg	R\$ 1.590.000,00
Resíduos no Formato de Cavacos de Aço	R\$ 0,65/kg	R\$ 143.208,00
Receita Bruta (Anual)		R\$ 1.733.208,00
Custos Anuais		
Custos com Recursos Humanos	Valores Agregados no Custo Total	R\$ 110.000,00
Custos com Transportadores de Resíduos		
Custos com Manutenções da Área		
Custo Total (Anual)		R\$ 110.000,00
Receita Líquida (Anual)	(Ganho Econômico)	R\$ 1.623.208,00

Fonte: Os Autores

5.2 Avaliação Ambiental com a Separação, Armazenagem e Comercialização dos Resíduos Metálicos Gerados nos Processos de Usinagem da Indústria

No que concerne aos cálculos do balanço de massa, pôde-se apurar que, anualmente a indústria realiza o processamento de 6.696.000 kg da matéria bruta (ferro fundido) e 1.044.000 kg da matéria bruta (aço).

Em contrapartida, os detritos de cavacos ferro fundido e detritos de cavacos de aço, os quais são gerados nos processos de produção da indústria, anualmente atingem as respectivas quantidades de 3.180.000 kg e 220.320 kg, sumarizando-se um total de 3.400.320 kg.

A tabela 4 ilustra o balanço massa anual das matérias-primas metálicas e seus respectivos valores de resíduos gerados na indústria.

Tabela 4: Balanço de Massa Anual da Matéria Bruta e a Geração dos Resíduos Metálicos

BALANÇO DE MASSA ANUAL	
Descrição	Massa em Kg (Anual)
Matéria Bruta de Ferro Fundido	6.696.000 kg
Matéria Bruta de Aço Carbono	1.044.000 kg
Total de Matéria Bruta (Anual)	7.740.000 kg
Balanço de Massa Anual de Resíduos Metálicos Gerados nos Processos de Usinagem	
Resíduos de Ferro Fundido	3.180.000 kg
Resíduos de Aço Carbono	220.320 kg
Total de Resíduos Metálicos Gerados (Anual)	3.400.320 kg

Fonte: Os Autores

No que se refere à avaliação da redução do impacto ambiental, considerou-se os componentes presentes nos resíduos abordados em estudo, salientando-se que a unidade de medida adotada foi o quilograma (kg).

O “Mass Intensity per Compartment (MIC)” foi alcançado, multiplicando-se a quantidade de cada material pelo seu respectivo “Mass Intensity Factor (MIF)”.

O “Mass Intensity Total (MIT)” foi alcançado por meio da soma do (MIC) dos compartimentos “abiótico, biótico, água e ar”.

Diante dos resultados obtidos, contabilizou-se no (MIT) a redução total do impacto ambiental, na ordem de 1.709.028.144 kg a menos de poluição no meio ambiente, levando-se em consideração a representatividade de 12 meses em termos de referência às coletas de dados.

Em relação ao nível abiótico, que corresponde aos fatores inorgânicos, refletindo-se diretamente no aquecimento global e a emissão de gases de efeito estufa, sumarizou-se a redução do impacto ambiental na ordem de 70.699.814,40 kg.

Além do mais, deixa-se de poluir a água com 1.622.062.521,60 kg, isentando-se também o ar, na ordem de 16.265.808 kg de detritos poluidores.

A tabela 5 apresenta os números dos cálculos de avaliação da redução dos impactos ambientais.

Tabela 5: Cálculos para a Avaliação da Redução do Impacto Ambiental

Componentes	Massa (Kg)	Abiótico	Biótico	Água	Ar	Redução (Kg)
Ferro	3.180.000,00	68.624.400,00		1.605.454.800,00	16.122.600,00	1.690.201.800,00
Aço	220.320,00	2.075.414,40		16.607.721,60	143.208,00	18.826.344,00
MIC		70.699.814,40		1.622.062.521,60	16.265.808,00	
MIT						1.709.028.144,00
MTE						3.400.320,00

Fonte: Os Autores

5.3 Comparação e Análise de Representatividade das Vantagens Econômicas e Ambientais na Indústria em Estudo

A fim de realizar a comparação entre o entre os ganhos econômicos (GE) e ganhos ambientais (GA), foi utilizado o cálculo do “índice de ganho econômico (IGE)” e o cálculo do “índice de ganho ambiental (IGA)”, com as seguintes fórmulas e seus respectivos valores:

$$\text{“IGE} = \text{MTE} / \text{GE}” = 3.400.320 / 1.623.208,00 = 2,095 \text{ Kg/R\$}$$

$$\text{“IGA} = \text{MIT} / \text{GE}” = 1.709.028.144 / 1.623.208,00 = 1.052,87 \text{ Kg/R\$}$$

Para a interpretação dos resultados obtidos em função do ganho econômico, cada Real (R\$) economizado equivale a 2,095 Kg de material.

Na interpretação do “índice de ganho ambiental (IGA)”, para cada Real (R\$) economizado, há uma garantia de 1.052,87 kg de matéria-prima que não é retirada da natureza.

Por conseguinte, ao realizar o cálculo entre a razão do índice de “ganho ambiental” (1.052,87 Kg/R\$) com o índice de “ganho econômico” (2,095 Kg/R\$), pôde-se constatar que a vantagem ambiental foi 502,56 vezes mais representativa do que o ganho econômico.

6. CONCLUSÕES

Diante das interpretações conclusivas da pesquisa científica, denota-se que o crescimento na geração de detritos metálicos de cavacos de aço e ferro fundido, de fato faz parte dos processos presentes na usinagem industrial. Além disso, salienta-se que a produção de peças e equipamentos, sem a utilização de matérias-primas recicladas, consequentemente pode promover o aumento na extração dos recursos naturais.

Em termos de retornos financeiros com os processos de separação, armazenagem e comercialização dos resíduos metálicos no período estudado, pôde-se avaliar que o considerável ganho econômico anual da indústria, encontra-se no valor de R\$ 1.623.208,00.

Além disso, os detritos que anteriormente eram vendidos por (R\$ 0,30 / kg) como sucatas metálicas misturadas, consideradas de baixo valor de mercado, agora são comercializados separadamente, entre cavacos de ferro fundido e cavacos de aço, os quais respectivamente tiveram os seus valores de venda aumentados em (R\$ 0,50/kg) e (R\$0,65/kg), promovendo-se uma maior lucratividade para a indústria.

Do ponto de vista dos cálculos relacionados ao balanço de massa, pôde-se concluir que os detritos gerados nos processos de usinagem equivalem a 47,49% e 21,10% respectivamente, quando comparados com as matérias-primas brutas de ferro fundido e aço, denotando-se os altos valores percentuais de geração de resíduos metálicos na indústria.

Além do mais, o reaproveitamento total de 3.400.320 kg de detritos metálicos absorvidos pelas empresas compradoras, conseqüentemente proporciona a redução na quantidade de aquisição de matérias-primas de siderúrgicas, diminuindo-se a extração destes materiais da natureza.

Em relação à avaliação dos ganhos ambientais por meio da ferramenta de ecoeficiência (MIF), contabilizou-se no (MIT) uma redução total no impacto ambiental, na ordem de 1.709.028.144 kg a menos de poluidores que não são dispensados no meio ambiente. Em relação aos dimensionamentos particulares de cada compartimento, o nível abiótico representa a redução do impacto ambiental na ordem de 70.699.814,40 kg, além de deixar de poluir a água com 1.622.062.521,60 kg de poluentes, isentando-se também o ar de 16.265.808 kg detritos poluidores.

No que diz respeito à comparação entre as vantagens econômicas e ambientais, constatou-se nos cálculos do índice de ganhos econômicos (IGE) e o índice de ganho ambiental (IGA) que, além da economia para cada Real (R\$) equivalente a 2,095 kg de material e o benefício de 1.052,87 kg por Real (R\$) de matéria-prima que não precisa ser extraída da natureza, a vantagem ambiental é 502,56 vezes mais representativa do que o ganho econômico.

No que se refere às questões legislativas, a indústria multinacional encontra-se em conformidade com a “Política Nacional de Resíduos Sólidos”, visto que os resíduos gerados são coletados e reciclados, seguindo-se o ciclo de retorno para as cadeias produtivas.

Sugere-se para pesquisas científicas futuras, a aplicação de estudos em mais empresas do segmento abordado, buscando-se consolidar os achados deste presente trabalho, além de agregar novos conhecimentos à área pesquisada.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS. *Lei n. 12.305, de 02 de Agosto de 2010*. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília. Distrito Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Ato2007-2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em 13 Abr. 2018.

BYRNE, G.; SCHOLTA, E. Environmentally clean machining processes: a strategic approach. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, v. 42, n. 1, p. 471-474, 1993.

GIANNETTI, B. F.; ALMEIDA, C. M. B. V. *Ecologia Industrial: Conceitos, Ferramentas e Aplicações*. São Paulo, Editora Edgard Blucher, 2006.

MICHAELIS, P.; JACKSON, T. Material and energy flow through the UK iron and steel sector. Part 1:1954-1994. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 29, n.1-2, p. 131-156, 2000.

OLIVEIRA NETO, G. C.; CHAVES, L. C.; VENDRAMETTO, O. Vantagens Econômicas e Ambientais da Reciclagem de Poliuretano em uma Empresa de Fabricação de Borracha. *Exacta*, v. 8, n. 1, p. 64-80, 2010.

POWEL, J. C.; CRAIGHILL, A. L. Application of LCA to recycling and waste management. *Environmental Protection Bulletin*, v. 48, n. 1, p. 3-7, 1997.

- RITTOFF, M.; ROUN, H.; LIEDTKE, C. Calculating MIPS: Resources Productivity of Products and Services. "Wuppertal Spezial" v. 27, n. 1, p. 8-25, 2003.
- ROCHA, L. K; MORAES, C. A. M.; BASTOS, K. Relações de simbiose industrial no setor metal-mecânico da bacia do Rios dos Sinos. In: *6º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, São Paulo, Anais..2015*. p. 1-9, 2015.
- ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBRKE, R. S. *Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices* – Reno: Reverse Logistics, Executive Council, 1998.
- SELLTZ, C. Métodos de pesquisa nas relações sociais. São Paulo - Ed: Pedagógica - Universitária, 1974.
- TANAKA, R.; YAMANE, Y.; SEKIYA, K.; NARITAKI, N.; SHIRAGA, T. Machinability of BN free-machining steel in turning. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, v. 47, n. 12-13, p. 1971-1977, 2007.
- WUPPERTAL, Institute. Calculating MPIs, resources productivity of products and services, 2014. Disponível em: <http://www.wuppertinst.org/uploads/tx_wiberitrag/MIT_v2.pdf> Acesso em: 15 abr. 2018.
- YANG, M. G. M.; HONG, P.; MODI, S. B. Impact of lean manufacturing and environmental management on business performance: an empirical study of manufacturing firms. *International Journal of Production Economics*, v. 129, n. 2, p. 252-261, 2011.
- YIN, R. K. Estudo de Caso: planejamento e métodos. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.