

Desenvolvimento do Projeto para o Meio Ambiente em uma Empresa Metalúrgica do Setor Automotivo: Vantagens Econômicas e Ambientais por Meio de Substituição do óleo de Corte do Processo de Estampagem

Jaqueline Barduzzi
jbarduzzi@gmail.com
UNINOVE

Geraldo Cardoso de Oliveira Neto
geraldo.prod@ig.com.br
UNINOVE

Milton Vieira Junior
mvieirajr@uninove.br
UNINOVE

Resumo: Este artigo apresenta o desenvolvimento do projeto para o meio ambiente (Design for the Environment – DfE) em uma empresa metalúrgica do setor automotivo. O objetivo central deste trabalho foi comparar as vantagens econômicas e ambientais na aplicação do DfE em relação a troca de óleo de corte no processo de peças estampadas. O método de pesquisa adotado foi estudo de caso, desenvolvido com apoio de entrevista semiestruturada e observação para coleta de dados e na análise aplicou-se um modelo para avaliação ambiental e econômica. Como resultados obteve-se que a adoção do DfE no processo de estampagem resultou em ganho econômico de R\$ 76.847,48 e redução do impacto ambiental de 48% no processo de produção da peça estampada em comparação com o processo original. Este projeto permitiu o aumento da produtividade da peça estudada através da eliminação de três operações que não agregavam valor ao produto e a diminuição dos impactos ambientais, comprovando eficácia do uso das ferramentas da ecoeficiência.

Palavras Chave: DfE - Vantagem Econômica - Vantagem ambiental - -

1. INTRODUÇÃO

Em 1992 o *Business Council for Sustainable Development - WBCSD* definiu as empresas ecoeficientes como empresas que buscavam o avanço incremental de eficiência com responsabilidade ambiental, no qual apresentavam gestão de recursos por meio de substituição de materiais e uso de produtos mais limpos e eficientes de modo a reduzir o impacto ecológico e utilização de recursos durante o ciclo de vida do produto. Entre os objetivos principais da ecoeficiência estão a redução do consumo de recursos, redução no impacto da natureza e melhoria do valor agregado ao produto ou serviço.

Ainda de acordo com o WBCSD um dos aspectos que contribuem para a melhoria da ecoeficiência durante o ciclo de vida do produto é o *Design for Environmental (DfE)* por fazer diferença no uso de materiais em termos de projeto e fabricação dos produtos.

Como forma a contribuir com conhecimentos teóricos e explorar a prática das ferramentas de ecoeficiência nas empresas, o objetivo geral deste trabalho foi mostrar as vantagens ambientais e econômicas de um projeto para o meio ambiente (*DfE*) na proposta de implementação de troca de óleo de corte na segunda operação do processo de estampagem, uma vez que não foram encontrados na literatura comparativos econômicos e ambientais na aplicação do *DfE* em um processo de estampagem. Para o presente estudo, foi utilizado um estudo de caso, no qual apresentou consumo substancial de óleo de estampagem e energia elétrica.

Na sequência, apresentam-se a revisão bibliográfica sobre *DfE* e as vantagens econômicas e ambientais. Depois, detalha-se o procedimento metodológico. Posteriormente, apresentam-se os resultados do estudo de caso e discutem-se os dados encontrados.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As atividades de reuso e remanufatura são a base para a engenharia ambientalmente conciente. Nos últimos anos a demanda por projetos de produtos mais eficientes e ecologicamente corretos tem aumentado e se tornado a base do sucesso do desenvolvimento de produtos. Para isto, empresas tem empregado novas metodologias na concepção do produto, como como o Projeto para Fabricação e Montagem (DFMA), Engenharia Simultânea (CE) e Design para Desmontagem (DFD). Contudo a metodologia que se mostrou mais favorável a reverter décadas de danos ao meio ambiente é o *Design for the Environmental DfE* (DEMENDONÇA E BAXTER, 2001).

Segundo Ljungberg (2007) o DfE é a método pelo qual a empresa escolhe materiais e processos de produção mais limpos, evitando impactos ambientais e aumentando a eficiência de recursos utilizados para a produção e uso do produto, além de possibilitar a gestão de resíduos e reciclagem.

O DfE pode ser definido como uma ferramenta da ecoeficiência utilizada para análise do projeto do produto até o descarte final, com objetivo de propor alterações no projeto e processo de modo a minimizar recursos energéticos durante a sua criação e reduzir o impacto ambiental durante todo o ciclo de vida (PAOLI, 2013).

Para fazer a avaliação ambiental foi considerado a quantidade dos resíduos efluentes e emissões que tenham sido eliminados e a redução na utilização de recursos naturais. Na avaliação econômica foi considerado os investimentos necessários, os custos operacionais do processo existente e os custos operacionais projetados das ações a serem implantadas. Por fim foi analisado a economia da empresa com a redução/eliminação de operações devido às mudanças propostas (SENAI, 2003).

3. METODOLOGIA

Para atingir os objetivos deste trabalho, os dados foram coletados através de entrevista semi-estruturada com o gerente industrial da fábrica, no qual se verificou a avaliação da substituição do óleo Renoform MZA 32 pelo óleo Kelstamp FN durante a segunda operação de estampagem da peça denominada Chapa de Cobertura. Foi feita observação na fábrica e avaliação de documentos dos últimos doze meses. Foram analisadas a quantidade de peças produzidas por lotes *versus* quantidade de peças trincadas e ao término da produção e retirada da ferramenta, qual a periodicidade que o ferramental era encaminhado para manutenção corretiva ou preventiva.

Após entrevista, os dados coletados foram avaliados com objetivo de verificar o consumo de óleo no processo, análise da quantidade de peças trincadas, aumento do intervalo entre as manutenções corretivas da ferramenta, aumento de produtividade e redução de retrabalho. Por meio dos dados coletados, foi possível realizar um estudo de caso.

Segundo CauchickMiguel e Sousa (2012, p.131), “o estudo de caso é um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo por meio da análise aprofundada de um ou mais objetos de análise (casos)”.

Oliveira Neto et al (2010), propõe um modelo desenvolvido por meio de estudo de casos, para avaliação ambiental e econômica para avaliar as alterações ligadas à extração de recursos dos ecossistemas naturais. Os dados tem como base a matriz energética da Alemanha, Europa e mundo, contudo não impossibilita a implementação deste modelo no Brasil uma vez que os dados quantitativos são muito próximos. Neste trabalho são exibidos na tabela 1.

Tabela 1: Fatores de Intensidade de Material usados no presente trabalho (dados da Europa, Alemanha)

Nome	Material Abiótico	Material Biótico	Água	Ar
Óleo Mineral (kg/kg)	1,36	-	9,45	0,02
Energia Elétrica (kWh)	1,55	-	66,73	0,54

^a Óleo de aquecimento, dados da Alemanha

^b Eletricidade, dados do mundo

Fonte: O autor

O modelo proposto consiste em quatro etapas: levantamento de dados, avaliação econômica, avaliação ambiental e comparação do ganho econômico e ambiental.

3.1 PRIMEIRA ETAPA

A primeira etapa do modelo baseia-se no levantamento do material ou resíduo a serem reduzidos, denominado Massa (M) e expressa nas unidades correspondentes. Após este levantamento é feito o balanço de massa com objetivo de calcular o Material Total Economizado (MTE).

3.2 SEGUNDA ETAPA

A segunda etapa do modelo consiste em quantificar as receitas e os custos do processo estudado a fim de verificar se houve ganho econômico (GE), avaliar o retorno do investimento (ROI) através das equações 1 e 2.

$$\%ROI = \text{lucro líquido semestral} / \text{investimento em ferramentas de ecoeficiencia} \quad (1)$$

$$\text{Período ROI} = \text{Investimento em ferramentas de ecoeficiencia} / \text{lucro líquido semestral} \quad (2)$$

3.3 TERCEIRA ETAPA

A terceira etapa do modelo avalia o ganho ambiental com base na ferramenta Mass Intensity Factors (MIF) considerando a massa (M) e o Intensity Factors (IF). Para determinar a intensidade de Material é feito a somatoria das massas dos materiais correspondentes de cada processo e multiplicado pelo fator MIF (mass intensity factors), que se caracteriza pela quantidade de massa necessária para produzir uma unidade de entrada no processo.

Para o calculo do MIF, tem-se:

$$MIF = M \times IF \quad (3)$$

A avaliação do Mass Intensity per Compartment (MIC) ou Ganho Ambiental por Compartmento, sendo classificados como: abiótico, biótico, água e ar, é dado por:

$$MIC = IF \text{ resíduo A do compartimento w} + IF \text{ B do compartimento w} + IF \text{ do resíduo C compartimento w} + IF \text{ do resíduo n do compartimento w} \quad (4)$$

A contabilização do ganho ambiental total ou Mass Intensity Total (MIT) e feita pela somatória dos MiCs.

$$MIT = MIC_w + MIC_x + MIC_z + MiC_n... \quad (5)$$

3.4 QUARTA ETAPA

O objetivo da quarta etapa do modelo é comparar o ganho econômico (GE) com o ganho ambiental (GA) e vice versa para verificar o Índice de Ganho Econômico (IGE) e Índice de Ganho Ambiental (IGA) através da implantação da ferramenta de ecoeficiência. O Índice de Ganho Econômico é a resultante do Material Total Economizado (MTE) pelo Ganho Econômico (GE).

$$IGE = MTE / GE \quad (6)$$

Para o cálculo do Índice de Ganho Ambiental (IGA) é dado pela divisão do Mass Intensity Total (MIT) pelo Ganho Econômico (GE).

$$IGA = MIT / GE \quad (7)$$

4. ESTUDO DE CASO

Uma grande empresa fornecedora da indústria automobilística, atuando no mercado brasileiro há mais de 30 anos e localizada nos Estados São Paulo e Paraná, Brasil, com cerca de 1800 trabalhadores.

Para o fluxo de produção da peça denominada Chapa de Cobertura, a principal preocupação da empresa era a quantidade de peças trincadas no processo de estampagem, que gerava altos custos de refugo e atrasos na produção dos lotes diários.

As etapas do processo de estampagem até a expedição da peça são as seguintes:

a) Cortar blank progressivamente – Processo de cortar o blank através de prensa excêntrica de 250 toneladas com desbobinador.

b) Rebarbar contorno – com objetivo de melhorar ou evitar trincas na próxima operação, era feito o lixamento do perímetro do blank, com auxílio de esmerilhadeira rotativa manual.

c) Formar Completo – Estampar peça manualmente em prensa hidráulica de 100 toneladas com duplo efeito - Para executar esta operação os blanks vinham em caixas de ferro

com aproximadamente 5000 unidades. O operador pegava em torno de 10 blanks fazendo uma pilha e colocando na mesa auxiliar da prensa. Com auxílio de um pincel oleava a pilha dos blank com óleo Fuchs Renoform MZA 32. A ferramenta foi construída de modo que estampava um blank por vez. Após a operação de estampar as peças eram acondicionadas em uma caixa de ferro e seguia para a operação de calibrar e retrabalho.

d) Lixar contorno - Com objetivo retirar arestas cortantes da operação anterior, era feito o lixamento da peça, com auxílio de esmerilhadeira rotativa manual. Nesta operação as peças trincadas era separadas e refugadas.

e) Calibrar LD/LE - calibrar a peça, estampando em uma prensa excêntrica de marcando a letra “c” na peça para evitar que misture com a peça sem a calibração. para garantir o dimensional para as próximas operações

f) Extrudar e separar - Extrudar e separar peças lado direito e lado esquerdo em prensa excêntrica de 160 toneladas.

g) Furar - Furar peças lado direito e lado esquerdo em prensa excêntrica de 160 toneladas.

h) Inspeção manual- ld/le – Selecionar peças 100% para garantir a qualidade do produto dentro do dimensional e arestas cortantes dentro do especificado e evitar o envio de peças com trincas.

4.1 ETAPA 1: LEVANTAMENTO DE MATERIAL

A tabela 2 mostra o consumo anual de óleo de corte e energia elétrica do processo atual e proposto. O consumo médio de energia elétrica na prensa hidráulica de 100 T considerando a potência do motor principal trifásico de 10,0 CV é igual a 7,40 kWh que foi utilizado como fator de cálculo.

Tabela 2: Consumo anual de material

Processo atual	
Óleo Mineral Renoform MZA 32 (kg/kg)	237,60
Energia Elétrica (kWh)	77076,59
Processo proposto	
Óleo Mineral Kelstamp FN (kg/kg)	47,52
Energia Elétrica (kWh)	25147,53

Fonte: O autor

Na Tabela 3 é possível ver os tempos de ciclo da máquina e homem definidos para a produção da peça Chapa de Cobertura.

Tabela 3: Etapas do ciclo de produção da peça estampada – Horas/1000 peças

Operação	Descrição	Tempo Máquina Atual	Tempo Homem Atual
a	Cortar blank progressivamente	0,476	0,546
b	Rebarbar contorno	9,000	9,000
c	Formar completo	8,046	8,046
d	Lixar contorno	9,080	9,080
g	Calibrar LE/LD	4,488	3,988
e	Extrudar e separar LE/LD	3,242	2,890
f	Furar LE/LD	4,110	4,110
h	Inspeção manual LE/LD	3,220	3,220
Ciclo total		41,66	40,88

Fonte: O autor

Como observado na tabela 3, os tempos de produção da peça estampada eram altos, uma vez que o fluxo de trabalho não era feito em célula ou linha, sendo máquinas distantes fazendo o operador perder tempo com abastecimento e esperas. Além das operações que não agregavam valor ao produto como oleamento, lixamento e inspeção.

No processo proposto, foi substituído o óleo Renoform MZA 32 pelo óleo Kelstamp FN para oleamento dos blanks na terceira operação (Formar Completo) com objetivo de eliminar as operações de rebarbar contorno (b), lixar contorno (d) e inspeção manual (h).

Durante os primeiros dois meses de testes, foram estampadas primeiramente 16600 peças com o óleo Renoform MZA 32 e 16600 peças com o óleo Kelstamp FN. Das primeiras 16600 peças, 5000 peças ficaram com arestas cortantes fora do dimensional e foi necessário lixamento e 200 foram trincadas e refugadas. Na segunda etapa de testes, não foi lixado o contorno do blank. Das 16600 peças estampadas, 4303 peças foi necessário o lixamento devido arestas cortantes e 65 peças foram trincadas e refugadas.

A partir do terceiro mês de testes, foi somente utilizado o óleo Kelstamp FN e estampado 16600 peças por mês sem lixar o contorno do blank antes de formar. O número de manutenções corretivas na ferramenta de Formar Completo caiu de 4 para 2 intervenções por mês, eliminando a necessidade de dois set-ups por mês.

Após o uso contínuo do óleo Kelstamp FN durante seis meses de testes, eliminou-se totalmente a necessidade de lixar o contorno da peça formada (operação d), e não encontrou-se peças trincadas no processo, eliminando a necessidade de inspeção final, uma vez que a qualidade era assegurada. Conforme tabela 4 tem-se o novo processo após a troca do óleo integral de corte.

Tabela 4: Etapas do ciclo de produção da peça estampada – Horas/1000 peças

Operação	Descrição	Tempo Máquina Proposto	Tempo Homem Proposto
a	Cortar blank progressivamente	0,476	0,546
b	Formar completo	8,046	8,046
c	Extrudar e separar LE/LD	3,988	3,988
d	Furar LE/LD	3,284	3,284
e	Calibrar LE/LD	2,626	2,626
	Ciclo total	18,42	18,49

Fonte: O autor

4.2 ETAPA 2: GANHO ECONÔMICO

As vantagens econômicas decorrentes da troca do óleo de corte no processo de estampagem foram contabilizadas. Apesar do modelo proposto sugerir o cálculo das vantagens financeiras através do ROI, no presente estudo foi comparado as vantagens financeiras do processo antes e depois durante o período analisado. Na tabela 5 o processo inicial era formado por oito operações com custo de máquina e mão-de-obra de R\$ 314.747,91 reais por ano.

Tabela 5: Custo anual do ciclo de produção da peça estampada – Processo atual

Operação	Descrição	Custo Máquina anual	Custo MO Anual
a	Cortar blank progressivamente	R\$ 2.562,01	R\$ 3.543,15
b	Rebarbar contorno	R\$ 24.220,70	R\$ 29.201,77
c	Formar completo	R\$ 21.653,30	R\$ 26.106,38
d	Lixar contorno	R\$ 48.871,98	R\$ 29.461,34
g	Calibrar LE/LD	R\$ 12.078,05	R\$ 12.939,63
e	Extrudar e separar LE/LD	R\$ 17.449,67	R\$ 18.754,03
f	Furar LE/LD	R\$ 22.121,57	R\$ 26.670,95
h	Inspeção manual LE/LD	R\$ 8.665,63	R\$ 10.447,75
	Custo do ciclo total	R\$ 157.622,91	R\$ 157.125,00

Fonte: O autor

Na tabela 6, o novo processo com a troca do óleo eliminou três operações e foi para um custo anual de R\$ 237.900,43 sendo economizado R\$ 48026,95 por ano com custo de máquina e R\$ 30.064,85 por ano com mão-de-obra.

Tabela 6: Custo anual do ciclo de produção da peça estampada – Processo proposto

Operação	Descrição	Custo Máquina	Custo MO
a	Cortar blank progressivamente	R\$ 2.562,01	R\$ 3.543,15
b	Formar completo	R\$ 21.653,30	R\$ 26.106,38
c	Calibrar LE/LD	R\$ 12.078,05	R\$ 12.939,63
d	Extrudar e separar LE/LD	R\$ 17.449,67	R\$ 18.754,03
e	Furar LE/LD	R\$ 22.121,57	R\$ 26.670,95
	Custo do ciclo total	R\$ 109.595,96	R\$ 127.060,16
	Custo total economizado:	R\$	76.847,48

Fonte: O autor

4.3 ETAPA 3: GANHO AMBIENTAL

Para fazer a avaliação ambiental na troca do óleo no processo de estampagem foi seguido o modelo proposto por Oliveira Neto (2010). A primeira fase da etapa 3 consiste no cálculo do Mass Intensity Factors (MIF), no qual foram utilizados os fatores de intensidade de Material da tabela 1 e multiplicados pelo consumo anual de material presentes na tabela 2. Tem-se como resultado:

Tabela 7: Mass Intensity Factors (MIF)

Processo atual				
Nome	Material Abiótico	Material Biótico	Água	Ar
Óleo Mineral (kg/kg)	323,14	-	2245,32	4,75
Energia Elétrica (kWh)	119468,71	-	5143320,82	41235,98
Processo proposto				
Óleo Mineral (kg/kg)	64,63	-	449,06	0,95
Energia Elétrica (kWh)	38978,67	-	1678094,70	13453,93

Fonte: O autor

Para avaliação do ganho ambiental por compartimento ou Mass Intensity per Compartment (MIC) foi somado os compartimentos Abiótico, biótico, água e ar do fluxo atual e proposto. A redução de óleo representa 80748,55 toneladas no compartimento abiótico, sem alterações no compartimento biótico, e deixa de poluir a água com 3467022,38 toneladas e o ar com 27785,85 toneladas.

Em relação ao Mass Intensity Total (MIT) representa a soma de todos os valores atual e proposto. O projeto para a troca do óleo no processo resultou em 3575556,77 toneladas a menos de poluição no meio ambiente durante um ano de coleta de dados. Com relação à energia elétrica, deixou de consumir 80490,04 kWh por ano, sem alterações no meio biótico e o ganho ambiental mais expressivo foi na água deixando de poluir com 3465226,11 toneladas e o ar 27785,84 toneladas.

Tabela 8: Vantagens ambientais do processo de troca de óleo de estampagem

Processo antes	Material Abiótico	Material Biótico	Água	Ar
Óleo Mineral Renoform MZA 32 (kg/kg)	323,14	-	2245,32	4,75
Energia Elétrica (kWh)	119468,71	-	5143320,82	41235,98
Total por compartimento	119791,85	-	5145566,14	41240,73
Total MIT	5306598,72			
Processo depois	Material Abiótico	Material Biótico	Água	Ar
Óleo Mineral Kelstamp FN (kg/kg)	64,63	-	449,06	0,95
Energia Elétrica (kWh)	38978,67	-	1678094,70	13453,93
Total por compartimento	39043,30	-	1678543,77	13454,88
Total MIT	1731041,95			

Fonte: O autor

4.4 ETAPA 4: COMPARAÇÃO DO GANHO ECONÔMICO E AMBIENTAL

Para comparar o ganho econômico (GE) com o ganho ambiental (GA) é necessário calcular o Índice de Ganho Econômico (IGE) que é a resultante do Material Total Economizado (MTE) tabela 9, pelo Ganho Econômico (GE), tabela 6.

Tabela 9: Material Total Economizado (MTE) - toneladas

Nome	Material Abiótico	Material Biótico	Água	Ar
Óleo Mineral (kg/kg)	258,51	-	1796,26	3,80
Energia Elétrica (kWh)	80490,04	-	3465226,12	27782,05
Material Total Economizado (MTE)	3575556,77			

Fonte: O autor

O Material Total Economizado apresenta a diferença dos compartimentos abiótico, biótico, água e ar do processo inicial e proposto, totalizando em 3575556,77 toneladas. O Ganho Econômico total da mudança de óleo mineral no processo no período estudado foi de R\$ 76847,48 resultando em um Índice de Ganho Econômico de 46,53. O cálculo do Índice de Ganho Ambiental (IGA) é dado pela divisão do Mass Intensity Total (MIT) tabela 8, pelo Ganho Econômico (GE) tabela 6, totalizando em 22,53, representando o ganho ambiental 48% do ganho econômico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo desse estudo foi gerar conhecimentos teóricos e apresentar as vantagens econômicas e ambientais na implementação de troca de óleo de corte em um processo de estampagem. Os resultados mostram que a troca do óleo de corte na terceira operação resultou na redução incremental até a completa eliminação do processo de rebarbar o contorno do blank, lixar o contorno da peça e inspeção manual.

Os resultados das mudanças no processo correspondem a 80748,55 toneladas no compartimento abiótico, sem alterações no compartimento biótico, e deixa de poluir a água com 3467022,38 toneladas e o ar com 27785,85 toneladas. Com relação à energia elétrica, deixou de consumir 80490,04 kWh por ano e os ganhos ambientais mais significativos foram na água e ar, deixando de poluir com 3465226,11 toneladas e 27785,84 toneladas respectivamente, confirmando assim as proposições de Paolli (2013), no que se refere à

redução do impacto ambiental durante todo o ciclo de vida do produto através de alterações no projeto e processo de modo a minimizar recursos energéticos.

Devido ao estudo se basear em dados de uma única peça e equipamentos específicos de uma empresa, impossibilita generalizar as conclusões aqui obtidas. Sugere-se que a mesma metodologia seja adotada para pesquisas futuras em outras empresas com estampagem profunda no qual se utilize óleo de corte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAUCHICK MIGUEL, P.A.; SOUSA, R. O método do estudo de caso na Engenharia de Produção. In: CAUCHICK MIGUEL, P.A. (Coord.). Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2. ed. São Paulo: Elsevier, 2012.

DEMENDONÇA, M.; BAXTER, T.E. “Design for the environment (DFE) An approach to achieve the ISO 14000 international standardization” Environmental Management and Health, Vol. 12 No. 1, 2001, pp. 51-56.

LENNART Y. LJUNGBERG. “Materials selection and design for development of sustainable products Materials and Design” Science direct, 28 (2007) 466–479

OLIVEIRA NETO, G.C.; CHAVES, L.E.C.; VENDRAMETTO, O. (2010); “Vantagens econômicas e ambientais na reciclagem de poliuretano em uma empresa de fabricação de borracha”, Exacta, 8(1), 65-80.

PAOLI, F M.; OLIVEIRA NETO, G C.; LUCATO, W C. (2013); “Vantagens econômicas e ambientais resultantes da aplicação do projeto para o meio ambiente (DfE)” Espacios, 34(13), 6-19.

SENAI-RS. Implementação de Programas de Produção mais Limpa. Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/ UNIDO/INEP, 2003. 42 p. il.

WBCSD (2000). Eco-efficiency: creating more value with less impact. WBCSD, Oct. 2000. Disponível em: www.wbcsd.org> Acesso em : jun. 2014

WUPPERTAL, INSTITUTE. Table of Material intensity of materials, fuels and transport services. Available from: <http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wupperinst/MIT_2011.pdf> [accessed on May, 05, 2014].