

VI-048 - GRAVAÇÃO E PREPARAÇÃO DE CLICHÊS FOTOPOLIMÉRICOS: ESTUDO DE CASO VISANDO APLICAÇÃO DA FERRAMENTA DE ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)

Mebur Bardini ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul – RS. Mestrando em Tecnologia Ambiental (UNISC).

André Luiz dos Santos

Gerente de produção na empresa Sulprint embalagens.

Ênio Leandro Machado

Doutor em Engenharia – MTA UNISC-RS

Jorge Ribas Moraes

Doutor em Engenharia – MTA UNISC-RS

Endereço⁽¹⁾: Rua Henrique Kohn, 10 – Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96.832.308 - Brasil - Tel: (51) 9706-1582 - e-mail: meburb@gmail.com

RESUMO

O processo de preparação dos clichês fotopoliméricos é uma etapa precedente à impressão de embalagens plásticas pelo processo de flexografia. Comumente se encontram estudos focados no processo produtivo das embalagens propriamente ditas, porém dificilmente os estudos ambientais englobam a etapa prévia de preparação da matriz flexográfica. Entretanto, por se tratar de uma atividade específica, a preparação de clichês possui seus próprios aspectos ambientais que merecem ações de gestão ambiental. Este trabalho identificou oportunidades de melhoria no processo de preparação de clichês fotopoliméricos. Para tal, todas as etapas foram inventariadas para posterior aplicação da ferramenta de Análise do Ciclo de Vida (ACV), por meio do *software* SimaPRO v 7.3.3 (método ReCIPE v. 1.06 (h)). A unidade funcional adotada foi a produção de 08 clichês fotopoliméricos, cujo fluxo de referência resultou em 10,60 kg de material. Os resultados apontam que, dentre os processos elementares avaliados, a lavagem de clichês possui os maiores impactos ambientais potenciais, seguida das etapas de gravação e exposição.

PALAVRAS-CHAVE: Clichês fotopoliméricos, impressão flexográfica, ACV.

INTRODUÇÃO

Considerando que o processo de preparação dos clichês fotopoliméricos é uma etapa anterior à impressão de embalagens plásticas, dificilmente os estudos ambientais direcionam o foco a este processo. Comumente se encontram estudos focados no processo produtivo das embalagens propriamente ditas.

Entretanto, por se tratar de uma atividade específica, a preparação de clichês possui seus próprios aspectos ambientais que merecem sua gestão ambiental.

Dentre as técnicas utilizadas para impressão de filmes plásticos destaca-se a flexografia. Esta é um sistema de impressão gráfica em que a fôrma (clichê de borracha ou fotopolímero) é relevográfica. São usadas tintas líquidas, à base de água ou solvente, curadas por luz UV (ultravioleta) ou EB (*Electron Beam*). Uma de suas virtudes é a flexibilidade para imprimir em variados suportes, de diferentes durezas e superfícies. Esta tecnologia é usada para imprimir em diferentes filmes plásticos e papéis: etiquetas, embalagens, faixas promocionais, copos descartáveis, toalha de papel, papel pautado, papel para presente, sacolas, *sleeves*, jornais etc. Sua principal aplicação é no mercado de embalagens alimentícias (ABTG, 2013).

Os elementos a serem impressos ficam em alto relevo na matriz e são entintados, imprimindo mediante pressão sobre o suporte (VILLAS-BOAS, 2008).

O processo de preparo do clichê fotopolimérico inicia com a etapa de gravação. Nesta etapa a arte da embalagem é transferida ao fotopolímero – clichê, por meio de um equipamento que utiliza um *software*, proporcionando a gravação direta a *laser* (DANIEL, 2009).

A etapa posterior é chamada de exposição. Tem por finalidade formar o grafismo. No caso do clichê analógico, é colocado um fotolito de filme mate sobre a chapa a ser exposta (ABTG, 2013).

Subsequentemente a isto se tem a etapa de processamento ou lavagem. Esta tem como finalidade a remoção do fotopolímero não exposto à luz UVA (não polimerizado/não endurecido), resultando numa imagem em relevo (3-D). De acordo com o tipo de chapa, o processamento é feito com solvente, água ou tecnologia térmica seca (ABTG, 2013).

Após aplicação do solvente, é necessária a retirada do mesmo. A etapa de secagem visa eliminar o solvente que é incorporado/absorvido pela parte polimerizada durante o processamento (revelação, gravação) (ABTG, 2013).

A partir de todas as etapas citadas a acima o clichê fotopolimérico está pronto. O passo posterior é a colocação do mesmo no cilindro de impressão. Geralmente se utiliza a técnica por microponto. A montagem dos clichês é uma das etapas mais importantes no processo de impressão flexográfica, pois diminui o *setup* e proporciona um ótimo impresso. Consiste em fixar os clichês sobre os cilindros porta clichês utilizando uma fita dupla face e as duas formas mais comuns são a manual e a óptica (ABTG, 2013).

Todas estas etapas citadas apresentam uma série de aspectos ambientais que necessitam ser gerenciados. Uma ferramenta que possibilita isto é a Análise do Ciclo de Vida (ACV). De acordo com Chehebe, 1998, p. 13 “[...] A Análise do Ciclo de Vida de Produtos é, na realidade, uma ferramenta técnica que pode ser utilizada em uma grande variedade de propósitos. As informações coletadas na ACV e os resultados de suas análises e interpretações podem ser úteis para tomadas de decisão, na seleção de indicadores ambientais relevantes para avaliação da performance de projetos ou reprojeto de produtos ou processos e/ou planejamento estratégico.

MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em uma empresa no interior do estado do Rio Grande do Sul. A mesma atua na área de embalagens plásticas e um de seus processos-chaves é a impressão flexográfica.

Ao expandir o processo clicheria, têm-se os seguintes sub-processos: gravação, laminação, exposição e lavagem, montagem dos cilindros de impressão e desmontagem dos cilindros. A Figura a seguir ilustra os processos elementares considerados no estudo.

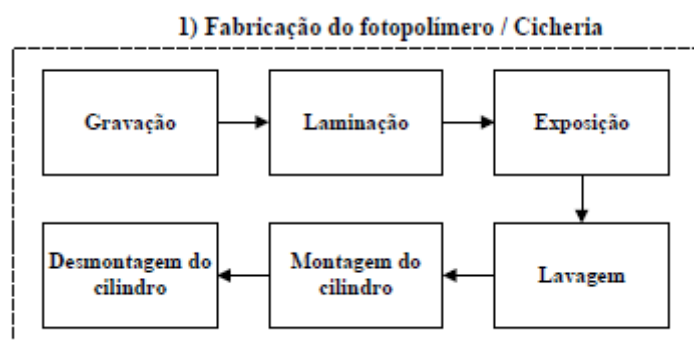


Figura 01 – Processos elementares do macroprocesso de fabricação de clichês fotopoliméricos.

As etapas desenvolvidas neste estudo seguiram as últimas versões (2009) das normas NBR ISO 14.040 (Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura) e 14.044 (Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações).

O objetivo deste estudo foi avaliar o ciclo de vida da preparação e montagem de clichês fotopoliméricos. De acordo com a norma NBR ISO 14.040, o propósito primário de uma unidade funcional é fornecer uma referência à qual as entradas e saídas são relacionadas. A unidade funcional adotada neste estudo foi a preparação e montagem de 08 (oito) clichês fotopoliméricos, equivalentes a 10,60 kg de material.

De modo a auxiliar na coleta dados, foram elaborados fluxogramas dos processos avaliados (através do *software Microsoft Visio*) e, descrição dos processos e utilização de ficha de coleta de dados (modelo adaptado da Norma NBR ISO 14.044:2009). Os fluxos apresentam informações genéricas, enquanto que as fichas de coleta de dados informações mais detalhadas a respeito do inventário.

As fontes dos dados utilizadas foram: entrevistas aos colaboradores da empresa, medição, observação das atividades, pesquisa em fichas técnicas e manuais dos equipamentos e consultas ao sistema da empresa. Eventuais estimativas utilizadas foram devidamente justificadas. Para o cálculo de energia elétrica consumida foi utilizada a fórmula a seguir.

$$E = P_{consumida} * t \quad [1]$$

Onde:

P: Potência ativa (em kW) e;

t: Tempo de operação (em horas).

De modo a quantificar as entradas e saídas foram coletadas amostras de materiais para realizar pesagens junto ao laboratório de Engenharia Ambiental (UNISC). Além disto, as estimativas e aproximações de materiais/insumos junto ao banco de dados do *software* SimaPRO também serão detalhadas.

Todos os dados adquiridos foram avaliados individualmente quanto à sua qualidade, por meio da matriz de *pedigree*, método apresentado por Weidema e Wesnaes (1996).

Os inventário adquirido foi aplicado no *software* SimaPRO v 7.3.3. Este foi desenvolvido como uma ferramenta para analisar, identificar e comparar os impactos ambientais de produtos diferentes. O programa tem dois componentes principais: uma base de dados de inventário, e uma base de dados de avaliação. Ambas as bases de dados já contêm informação prévia, mas também podem ser expandidas e modificadas pelo usuário. O método adotado foi o *Receipe* v 1.06 (*Midpoint H*). O mesmo possui categorias de impacto atrativas para o segmento industrial, além de ser mundialmente referenciado. Ao total são 16 categorias de impactos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

O setor de clicheria é o responsável pelo preparo da matriz relevográfica para impressão. O fluxo geral do setor (com o inventário para produção de 08 fotopolímeros) é apresentado nas Figuras a seguir.

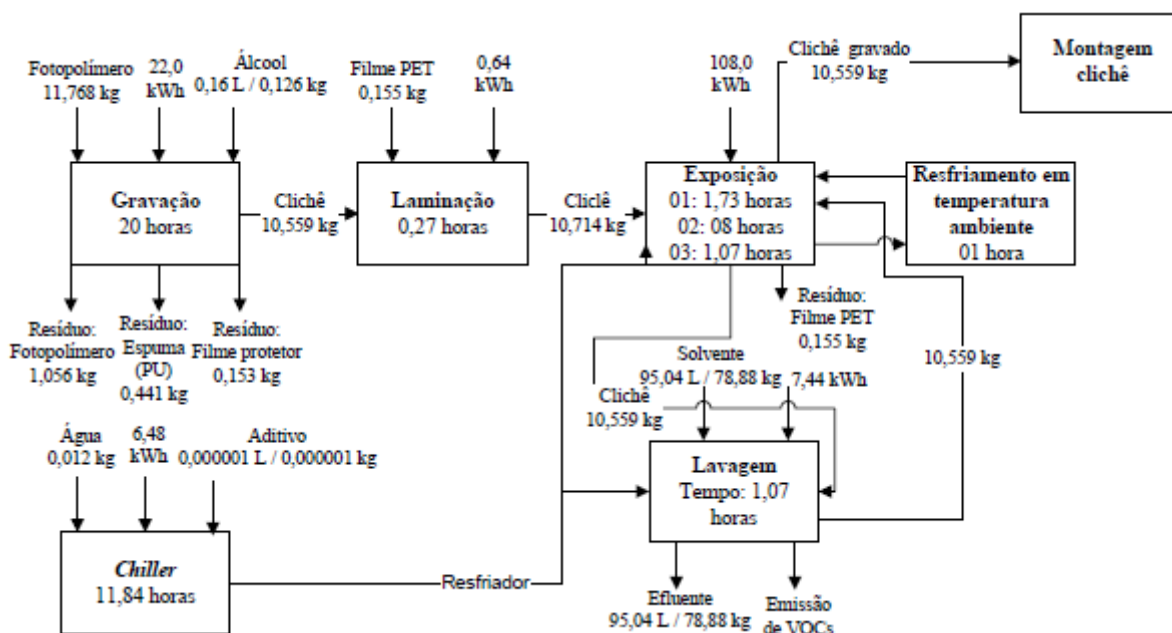


Figura 02 – Fabricação de clichês fotopoliméricos – processos elementares.

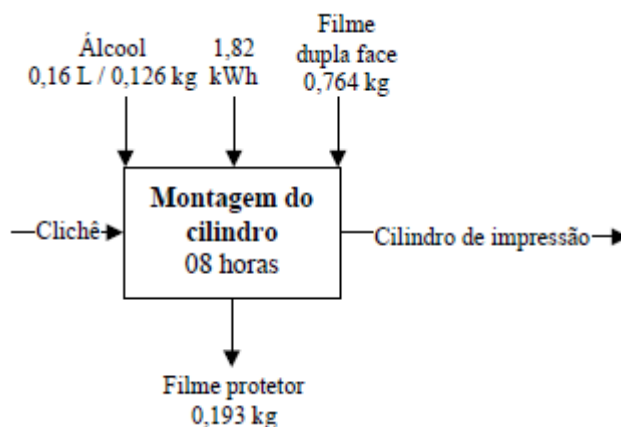


Figura 03 – Inventário associado à montagem do cilindro de impressão.

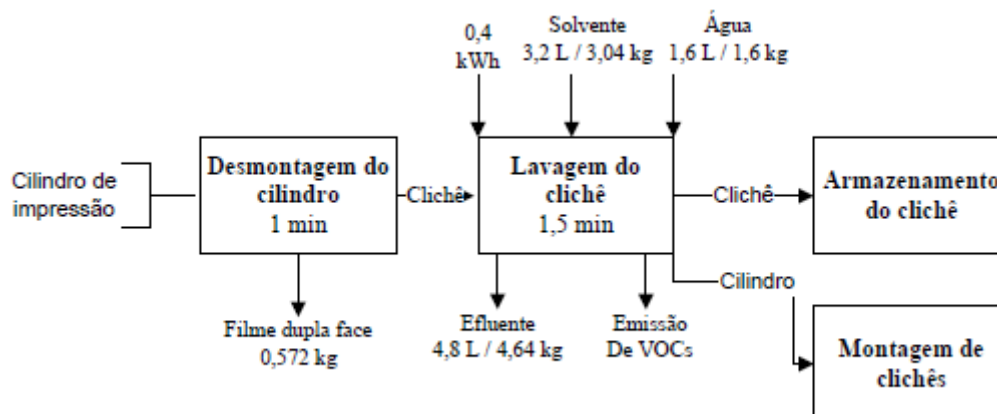


Figura 04 – Inventário associado à desmontagem do cilindro de impressão.

Gravação

Durante o processo há consumo de material (matéria-prima) e energia elétrica. As saídas se resumem a resíduos oriundos da embalagem de matéria-prima, resíduos provenientes da placa (fotopolímero) e, o produto final.

A placa de fotopolímero possui uma película de proteção a qual é retirada no momento da gravação (sem identificação). Sobre a placa do fotopolímero há também uma camada de material carbono (coloração escura). Durante esta etapa há uma pequena utilização de álcool para limpeza das placas. A quantidade utilizada foi estimada em 0,16 litros. Considerando uma densidade de 0,789, a quantidade equivalente em massa é de 0,126 kg.

A Tabela a seguir apresenta a relação de entradas e saídas necessárias para gravação de oito placas de fotopolímero.

Tabela 01 – Inventário para o processo elementar – gravação.

Entradas	Quantidades
Copolímero de estireno	11,768 kg
Etanol	0,160 L / 0,126 kg
Energia elétrica	22,0 kWh
Saídas	Quantidades
Resíduo: copolímero de estireno	1,056 kg
Resíduo: espuma de poliuretano	0,441 kg
Resíduo: película protetora	0,153 kg

Laminação

O processo de laminação consiste na utilização de matéria-prima (Filme PET) e consumo de energia elétrica. Como saída tem-se apenas a placa de fotopolímero com filme PET (produto final). Devido à pequena quantidade de matéria-prima utilizada, o resíduo de embalagem equivalente proveniente da mesma foi desconsiderado. A Tabela a seguir apresenta o inventário deste processo elementar.

Tabela 02 – Inventário para o processo elementar – laminação.

Entradas	Quantidades
Filme de Tereftalato de Etileno (PET)	0,155 kg
Energia elétrica	0,64 kWh

Exposição

A operação consiste na utilização de energia e geração de resíduo (filme proveniente da etapa anterior – laminação).

No *chiller* há consumo de energia água, elétrica e aditivo (monoetilenoglicol). Este produto químico possui uma densidade de 1,11 g/cm³. Conforme informado pela empresa, a cada três meses são adicionados 1,5 litros de água e 0,1 L deste aditivo. A quantidade equivalente foi alcançada mediante correlação ao tempo de operação.

Devido à dificuldade em medir precisamente o trabalho do deste para cada equipamento, foi alocado 50% do inventário para cada etapa.

A Tabela a seguir apresenta o inventário deste processo elementar.

Tabela 03 – Inventário para o processo elementar – exposição.

Entradas	Quantidades
Monoetilenoglicol	0,000001 L / 0,000001111 kg
Energia elétrica	114,48 kWh
Água	0,012 L / 0,012 kg
Saídas	Quantidades
Resíduo: filme PET	0,155 kg

Lavagem

Este processo consiste na utilização de energia elétrica e solvente. O consumo deste solvente é na ordem de 10 a 12 litros/m² de placa lavada. Considerando 08 placas de 1,08 m² cada e, um consumo médio de solvente de 11 litros/m², isto em 95,04 litros de solvente consumidos. De acordo com a ficha técnica do produto, este solvente é uma mistura de hidrocarbonetos alifáticos e álcoois, sendo sua composição segredo industrial. O mesmo possui uma densidade de 0,83 g/cm³.

Como saída tem-se a geração de efluente e emissões atmosféricas. O efluente gerado é recolhido e armazenado internamente, onde posteriormente é enviado para rerrefino. As emissões atmosféricas são lançadas internamente no setor. A partir de cálculos para emissões do COVs foi estimada uma quantidade de 10 kg para as emissões atmosféricas.

Conforme citado no item anterior, 50% do inventário do *chiller* foi alocado neste processo elementar. A Tabela a seguir apresenta o inventário deste processo elementar. Para o caso do solvente foram adotadas as seguintes substâncias: hexano e álcool etílico.

Tabela 04 – Inventário para o processo elementar – lavagem.

Entradas	Quantidades
Hidrocarbonetos alifáticos e álcoois	95,04 L / 86,32 kg
Monoetilenoglicol	0,000001 L / 0,000001111 kg
Energia elétrica	13,92 kWh
Água	0,012 L / 0,012 kg
Saídas	Quantidades
Efluente	94,04 L / 76,32 kg
Emissão de VOCs	10 kg

Montagem e desmontagem do clichê

Durante esta etapa há uma pequena utilização de álcool para limpeza do cilindro. A quantidade utilizada foi estimada em 0,16 litros. Considerando uma densidade de 0,789, a quantidade equivalente em massa é de 0,126 kg.

O filme dupla face aplicado nesta operação é uma espuma de polietileno somada de uma camada de filme de polipropileno.

Como saída tem-se o resíduo (filme protetor) da matéria-prima. Devido à pequena quantidade de matéria-prima utilizada, o resíduo de embalagem equivalente proveniente da mesma foi desconsiderado.

A Tabela a seguir apresenta o inventário deste processo elementar.

Tabela 05 – Inventário para o processo elementar – montagem do clichê.

Entradas	Quantidades
Etanol	0,160 L / 0,126 kg
Espuma de Polietileno (PE)	0,57 kg
Filme de Polipropileno (PP)	0,192 kg
Energia elétrica	1,81 kWh
Saídas	Quantidades
Resíduo: filme de Polipropileno (PP)	0,192 kg

Neste mesmo setor há a desmontagem dos cilindros (após impressão). A operação consiste em retirar o fotopolímero do cilindro, lava-lo e armazena-lo. A lavagem é feita utilizando uma lavadora – potência de 2 kW - (Figura x), solvente e água. O consumo de solvente e água é de 50 litros e 10 litros, respectivamente, para cada 20 placas lavadas. Considerando as oito placas deste estudo, tem-se o consumo de 3,2 litros de solvente e 1,2 litros de água, respectivamente. As substâncias presentes no solvente são éteres de glicol (densidade de 0,951 g/cm³). A partir de cálculos para emissões do COVs Foi estimada uma quantidade de 0,5 kg para as emissões atmosféricas.

A Tabela a seguir apresenta o inventário deste processo elementar.

Tabela 06 – Inventário para o processo elementar – desmontagem do clichê.

Entradas	Quantidades
Éteres de glicol	3,2 L / 3,04 kg
Água	1,6 L / 1,6 kg
Energia elétrica	0,4 kWh
Saídas	Quantidades
Resíduo: espuma de Polietileno (PE)	0,57 kg
Efluente	4,14 kg
Emissão de VOCs	0,5 kg

Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

A Tabela a seguir apresenta as categorias de impacto caracterizadas obtidas neste estudo. Percebe-se que na grande maioria destas o processo elementar de lavagem apresentou as maiores contribuições. Isto é devido ao consumo de solvente e consequente emissão de compostos orgânicos voláteis (VOCs).

Tabela 07 – Categorias de impacto caracterizadas.

Categoria de impacto	Unidade	Total	GRAV.	LAM.	EXP.	LAV.	MONT. CIL.	DESM. CIL.
Mudanças climáticas	kg CO ₂ eq	144,66	52,84	0,97	25,90	58,99	2,05	3,91
Dep. camada de ozônio	kg CFC-11 eq	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toxicidade humana	kg 1,4-DB eq	57,12	1,79	0,01	2,23	51,57	0,20	1,32
Form. oxidantes fotoquímicos	kg NMVOC	12,26	0,12	0,00	0,03	11,59	0,01	0,51
Form. material particulado	kg PM10 eq	0,26	0,04	0,00	0,01	0,20	0,00	0,00
Radiação ionizante	kg U235 eq	13,85	1,35	0,02	3,96	7,42	0,07	1,02
Acidificação terrestre	kg SO ₂ eq	0,71	0,10	0,00	0,02	0,56	0,01	0,01
Eutrofização – água doce	kg P eq	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Eutrofização marinha	kg N eq	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DB eq	0,54	0,00	0,00	0,00	0,53	0,00	0,00
Ecotoxicidade – água doce	kg 1,4-DB eq	1,02	0,06	0,00	0,04	0,88	0,00	0,03
Ecotoxicidade marinha	kg 1,4-DB eq	0,61	0,06	0,00	0,04	0,48	0,00	0,03
Ocupação do solo - agrícola	m ² a	89,88	0,35	0,00	0,60	88,52	0,34	0,07
Ocupação do solo – urbano	m ² a	0,65	0,02	0,00	0,03	0,58	0,00	0,01
Transf. natural do solo	m ²	0,12	0,01	0,00	0,02	0,09	0,00	0,00
Depleção de água	m ³	1,24	0,10	0,00	0,06	1,04	0,01	0,03
Depleção de metais	kg Fe eq	5,40	0,26	0,00	0,55	4,32	0,01	0,25
Depleção fóssil	kg oil eq	98,86	26,46	0,37	3,13	64,87	1,34	2,68

Em algumas categorias de impacto, tais como mudanças climáticas e depleção fóssil, o processo elementar gravação apresentou contribuições importantes. 36,53% do total encontrado na categoria de mudanças climáticas foi devido a este processo. Isto se deve ao consumo energético dos equipamentos. Por outro lado, este processo também apresentou uma contribuição de 26,7% na categoria de impacto depleção fóssil, onde tal fato é justificado pelo consumo do material polimérico na entrada.

Outro possível arranjo no método *ReCIPE midpoint* (h) é a normalização. Esta faz uma relação dos valores obtidos com valores de referência, possibilitando identificar quais são as categorias de impacto prioritárias na fronteira de estudo avaliada, bem como apontar quais processos são os responsáveis. A Figura a seguir apresenta o gráfico obtido para esta etapa.

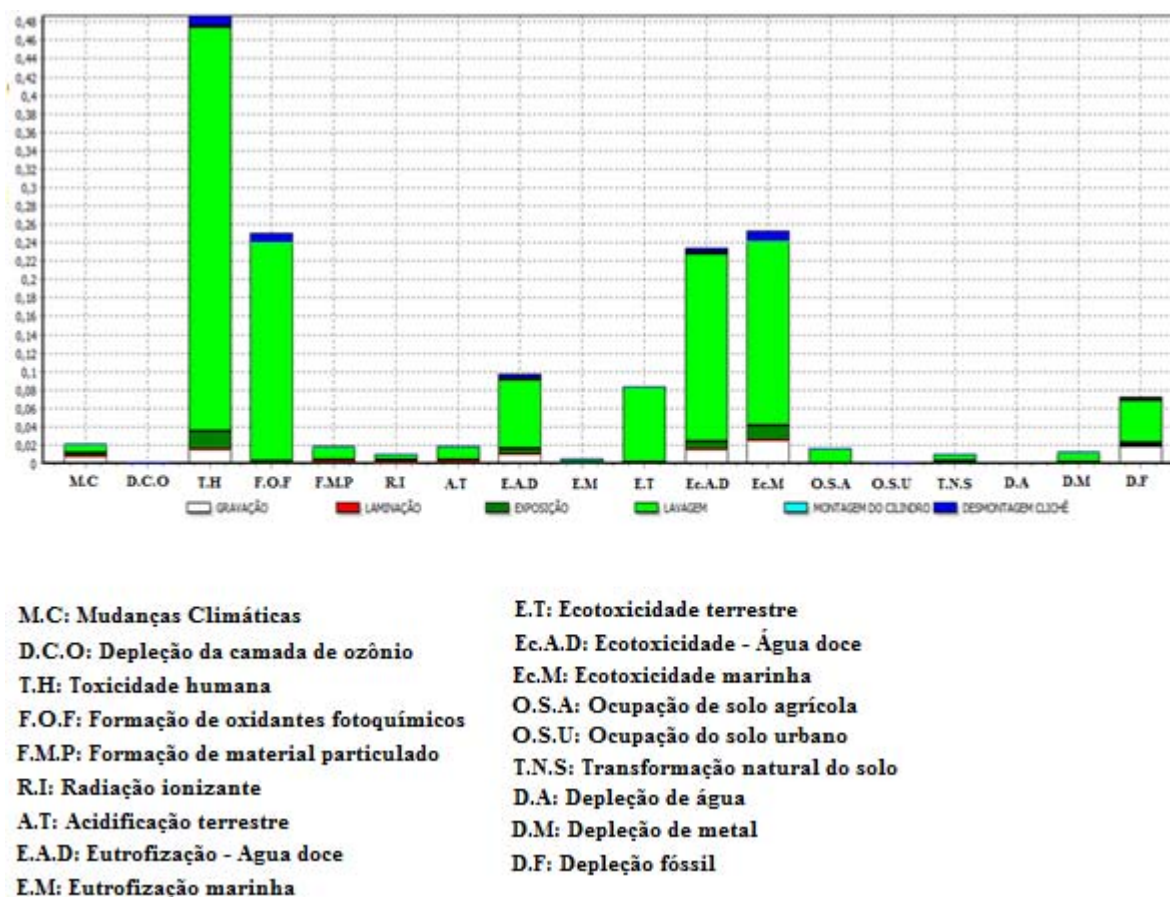


Figura 01 – Categorias de impacto normalizadas, de acordo com os processos elementares avaliados.

As categorias de impacto que apresentaram maiores significâncias foram: toxicidade humana, formação de oxidantes fotoquímicos, ecotoxicidade (água doce) e ecotoxicidade marinha. O processo elementar lavagem foi o grande responsável por estas contribuições.

De uma forma geral, os resultados apontam que a lavagem é responsável pelas maiores contribuições na fronteira do estudo avaliado. Sugerem-se ações ambientais voltadas à esta etapa, seja na entrada do processo quanto na saída, de modo que se possa reduzir de uma forma sistêmica os impactos ambientais potenciais associados. Possíveis ações poderiam estar ligadas à redução no consumo do solvente e/ou recuperação do solvente utilizado.

CONCLUSÕES

Os resultados apontaram que a lavagem é responsável pelas maiores contribuições na fronteira do estudo avaliado. O processo elementar de gravação também apresentou uma importância nos valores encontrados, principalmente nas categorias de impacto “mudanças climáticas” e “depleção fóssil”. Sugerem-se ações ambientais voltadas a estes processos elementares.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - _____. NBR ISO 14040: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida- princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.
- 2 - _____. NBR ISO 14044: Gestão ambiental: avaliação do ciclo de vida: requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009.
- 3 - Associação Brasileiro de Tecnologia Gráfica (ABTG). Manual de impressão flexográfica, 2013.
- 4 - DANIEL, O.W. Disponível em: <
http://www.revistatecnologiagrafica.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=285:gravacao-direta-a-laser-dle&catid=39:impressao&Itemid=180>. Acesso em: agosto de 2014.
- 5 - ROCHA, Mateus Henrique. Uso da análise do ciclo de vida para a comparação do desempenho ambiental de quatro alternativas Para tratamento da vinhaça. 2009. 263 f. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Mecânica. Itajubá – MG.
- 6 - VILLAS-BOAS, A. Produção gráfica para designers. Rio de Janeiro: 2AB, 2008.
- 7 - WEIDEMA, B; WESMAES, MS. *Data quality management for life cycle inventories: An example of using data quality indicators*. *Journal of Cleaner Production*. 4 (3-4) p. 167 – 174. 1996.