



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**VICTOR AUGUSTO CAVALCANTE BEZERRA MENEZES**

**IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO NA  
USINAGEM DE METAIS**

**FORTALEZA**

**2018**

VICTOR AUGUSTO CAVALCANTE BEZERRA MENEZES

IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO NA  
USINAGEM DE METAIS

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção da Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M513i Menezes, Victor Augusto Cavalcante Bezerra.  
Impactos ambientais decorrentes de processos de fabricação na usinagem de metais / Victor Augusto Cavalcante Bezerra Menezes. – 2018.  
70 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Mecânica, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima.
1. Processos tradicionais de usinagem. 2. Impactos ambientais. 3. Bases de dados. I. Título.  
CDD 620.1
-

VICTOR AUGUSTO CAVALCANTE BEZERRA MENEZES

IMPACTOS AMBIENTAIS DECORRENTES DE PROCESSOS DE FABRICAÇÃO NA  
USINAGEM DE METAIS

Trabalho Final de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção da Graduação em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Francisco Elicivaldo Lima  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Luiz Soares Júnior  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Rômulo do Nascimento Rodrigues  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Augusto e Mônica.

Ao meu irmão, Caio.

Às minhas tias, Ana Clédina e Ana Célia.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus familiares, por todo o apoio e incentivo dados aos meus estudos, desenvolvimento humano e minhas necessidades.

A todos os professores, amigos, colegas e funcionários do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Ceará, e de outros departamentos, por toda a ajuda, conhecimento e experiência adquiridos ao longo desses anos.

À CAPES, pela oportunidade de realização de graduação-sanduiche no exterior, por meio do Programa Ciência sem Fronteiras.

Ao Prof. Francisco Elicivaldo Lima, pela excelente orientação e grande disponibilidade, além do fornecimento de parte considerável dos dados necessário para que esse trabalho fosse possível.

Aos professores Luiz Soares Júnior e Rômulo do Nascimento Rodrigues, participantes da banca examinadora, pelo tempo e pelas valiosas colaborações e sugestões.

À Equipe Siará de Baja, projeto de extensão do qual fiz parte e que foi responsável pela aquisição de bastante conhecimento, além de ter me ensinado lições valiosíssimas a respeito de relacionamento interpessoal e trabalho em equipe.

A todos aqueles que me ajudaram de alguma forma nessa etapa decisiva de minha vida: a minha sincera gratidão.

“Quando a última árvore for derrubada, quando o último rio for envenenado, quando o último peixe for pescado, só então nos daremos conta de que dinheiro não se come.”

(Provérbio indígena)

## RESUMO

Este trabalho visa analisar a magnitude de impacto ambiental decorrente da realização de algumas variantes de processos tradicionais de usinagem (sendo, ao todo, doze variantes dos processos de furação, fresagem e torneamento) em cinco tipos diferentes de metais (aço, aço-cromo, ferro fundido, alumínio e latão), utilizando, para isso, sete bases de dados (ILCD, Impact, ReCiPe, TRACI, UBP, CML e EDIP) de uma versão de um software de análise de impacto de ciclo de vida chamado GaBi. Descreveu-se, de forma breve, os processos de furação, fresagem e torneamento, junto de uma explicação a respeito dos processos convencionais e processos CNC, além dos tipos de metais considerados no estudo e o GaBi, com suas bases de dados. Adicionou-se, também, uma breve explicação a respeito do ciclo de vida dos produtos. As bases de dados forneceram diversos valores de grandezas físicas que caracterizam quantitativamente vários indicadores de impacto ambiental (sendo esses valores referentes à execução simulada de variantes de processos de usinagem em amostras de 1,0 kg dos metais considerados nesse trabalho). Organizou-se esses indicadores em dezesseis categorias de impacto ambiental (esse trabalho também descreve, de forma breve, essas dezesseis categorias). Dentro de cada base de dados, para cada tipo de metal, normalizou-se os valores de cada indicador de impacto ambiental levando em consideração as variantes de processos de usinagem. Após isso, calculou-se a média aritmética desses valores normalizados para cada variante de processo de usinagem, levando em consideração todos os indicadores de impacto ambiental disponíveis. Repetindo esse processo para todos os tipos de metais de todas as bases de dados, elencou-se quais são as variantes mais e menos impactantes ao meio ambiente. Por unanimidade, as sete bases apontaram a operação de acabamento realizado em uma fresadora CNC como a mais impactante, enquanto que, também por unanimidade, as sete bases apontaram o processo de furação convencional como o menos impactante. Para efeito de exemplificação, adicionou-se ao “Anexo A” todas as tabelas de indicadores de impacto ambiental disponíveis para a base de dados “EDIP”, com os seus valores normalizados, além dos índices de impacto ambiental das variantes de processos tradicionais de usinagem.

**Palavras-chave:** Processos Tradicionais de Usinagem. Impactos Ambientais. Bases de Dados.



## ABSTRACT

This paper aims to analyze the environmental impact magnitude resulting from the realization of some traditional machining processes variants (in all, twelve variants of the drilling, milling and turning processes) in five different metal types (steel, chrome steel, cast iron, aluminium and brass), using for this seven databases (ILCD, Impact, ReCiPe, TRACI, UBP, CML and EDIP) of a life cycle impact analysis software version called GaBi. A brief description of the drilling, milling and turning processes was given along with an explanation of conventional processes and CNC processes, as well as the metal types considered in the study and GaBi with its databases. A brief explanation was also given about the products life cycle. The databases provided various values of physical quantities that quantitatively characterize various environmental impact indicators (these values refer to the simulated execution of machining processes variants in 1,0 kg samples of the metals considered in this paper). These indicators were organized into sixteen environmental impact categories (this paper also briefly describes these sixteen categories). Within each database, for each metal type, the values of each environmental impact indicator were normalized taking into account the machining processes variants. After that, the arithmetic mean of these normalized values was calculated for each machining process variant, taking into account all available environmental impact indicators. By repeating this process for all metal types from all databases, it was pointed out which variants are more and less environmentally impacting. The seven databases unanimously pointed out the dressing operation performed on a CNC mill as the most impactful, while also unanimously the seven databases pointed out the conventional drilling process as the least impacting. For the sake of exemplification, all the environmental impact indicators tables available for the EDIP database, including all of their normalized values, were added to Appendix A, in addition to the environmental impact indexes of the traditional machining processes variants.

**Keywords:** Traditional Machining Processes. Environmental Impacts. Databases.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diferentes tipos de cavacos. ....	18
Figura 2 – a) Furação; b) Fresagem; c) Torneamento. ....	19
Figura 3 – Fluido de corte. ....	19
Figura 4 – Torneamento convencional. ....	20
Figura 5 – Fresadora CNC. ....	20
Figura 6 – Furadeira padrão. ....	21
Figura 7 – Broca helicoidal. ....	21
Figura 8 – Fresadora universal. ....	22
Figura 9 – Cabeçotes de fresamento. ....	22
Figura 10 – Torno CNC. ....	23
Figura 11 – Ferramentas de corte. ....	23
Figura 12 – Metais. ....	24
Figura 13 – Vergalhões de aço. ....	25
Figura 14 – Faca de aço-cromo. ....	25
Figura 15 – Mesa de fresadora de ferro fundido. ....	26
Figura 16 – Latas de alumínio. ....	27
Figura 17 – Componentes de latão. ....	27
Figura 18 – Rio eutrofizado. ....	30
Figura 19 – Material particulado em escala. ....	34
Figura 20 – Ocorrência de smog em Nova Délhi, Índia. ....	36

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Ciclo de vida dos produtos. ....	28
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Categorias de impacto ambiental presentes em cada base de dados. ....	40
Tabela 2 –	Variantes dos processos de furação, fresagem e torneamento. ....	41
Tabela 3 –	Hierarquia de magnitude de impacto ambiental na usinagem do aço (EDIP). ...	42
Tabela 4 –	Hierarquia de magnitude de impacto ambiental na usinagem do aço-cromo (EDIP). ....	43
Tabela 5 –	Hierarquia de magnitude de impacto ambiental na usinagem do ferro fundido (EDIP). ....	44
Tabela 6 –	Hierarquia de magnitude de impacto ambiental na usinagem do alumínio (EDIP). ....	45
Tabela 7 –	Hierarquia de magnitude de impacto ambiental na usinagem do latão (EDIP)..	45
Tabela 8 –	Variantes de processos de usinagem mais e menos impactantes ao meio ambiente por base de dados. ....	46
Tabela 9 –	Hierarquia geral de magnitude de impacto ambiental. ....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CNC	Computer Numeric Control
GaBi	Ganzheitliche Bilanzierung (Holistic accounting)
ILCD	International Reference Life Cycle Data System
TRACI	Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts
UBP	Umweltbelastungspunkte (Ecological Scarcity Method)
CML	Centrum voor Milieuwetenschappen (Institute of Environmental Sciences)
EDIP	Environmental Development of Industrial Products
PM	Particulate matter
PM <sub>2.5</sub>	Materiais particulados com diâmetro inferior a 2,5 µm
PM <sub>10</sub>	Materiais particulados com diâmetro compreendido entre 2,5 µm e 10µm

## LISTA DE SÍMBOLOS

kg	Quilograma
$\mu\text{m}$	Micrometro
%	Por cento
$I_{ijn}$	Valor normalizado da amostra da grandeza que caracteriza um indicador de impacto ambiental
$I_{ij}$	Valor amostral da grandeza que caracteriza um indicador de impacto ambiental
$I_{j\text{min}}$	Valor mínimo amostral da grandeza que caracteriza um indicador de impacto ambiental
$I_{j\text{max}}$	Valor máximo amostral da grandeza que caracteriza um indicador de impacto ambiental
$IIA_i$	Índice de impacto ambiental de uma variante de processo de usinagem
$\Sigma$	Somatório
n	Número de indicadores de impacto ambiental disponíveis para uma variante de processo de usinagem

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	18
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Os processos tradicionais de usinagem</b> .....	18
<b>2.1.1</b>	<i>Usinagem Convencional e Usinagem CNC</i> .....	19
<b>2.1.2</b>	<i>A Furação</i> .....	20
<b>2.1.3</b>	<i>A Fresagem</i> .....	21
<b>2.1.4</b>	<i>O Torneamento</i> .....	22
<b>2.2</b>	<b>Os metais</b> .....	23
<b>2.2.1</b>	<i>O Aço</i> .....	24
<b>2.2.2</b>	<i>O Aço-Cromo</i> .....	25
<b>2.2.3</b>	<i>O Ferro Fundido</i> .....	25
<b>2.2.4</b>	<i>O Alumínio</i> .....	26
<b>2.2.5</b>	<i>O Latão</i> .....	27
<b>2.3</b>	<b>Ciclo de vida dos produtos</b> .....	28
<b>2.4</b>	<b>Categorias de indicadores de impacto ambiental</b> .....	28
<b>2.4.1</b>	<i>Acidificação</i> .....	29
<b>2.4.2</b>	<i>Eutrofização</i> .....	29
<b>2.4.3</b>	<i>Aquecimento Global</i> .....	30
<b>2.4.4</b>	<i>Efeito fotoquímico</i> .....	30
<b>2.4.5</b>	<i>Deterioração da Camada de Ozônio</i> .....	31
<b>2.4.6</b>	<i>Ecotoxicidade</i> .....	31
<b>2.4.7</b>	<i>Agentes Cancerígenos</i> .....	32
<b>2.4.8</b>	<i>Agentes Não-Cancerígenos</i> .....	32
<b>2.4.9</b>	<i>Radiação Ionizante</i> .....	32
<b>2.4.10</b>	<i>Particulado</i> .....	33
<b>2.4.11</b>	<i>Terra</i> .....	34
<b>2.4.12</b>	<i>Energia</i> .....	35
<b>2.4.13</b>	<i>Água</i> .....	35
<b>2.4.14</b>	<i>Poluição do Ar Atmosférico (Smog)</i> .....	35
<b>2.4.15</b>	<i>Metais Pesados</i> .....	36
<b>2.4.16</b>	<i>Substâncias Radioativas</i> .....	37

<b>2.5</b>	<b>O GaBi</b> .....	37
<b>2.5.1</b>	<b>As Bases de Dados do GaBi</b> .....	38
2.5.1.1	<i>ILCD</i> .....	38
2.5.1.2	<i>Impact</i> .....	38
2.5.1.3	<i>ReCiPe</i> .....	38
2.5.1.4	<i>TRACI</i> .....	39
2.5.1.5	<i>UBP</i> .....	39
2.5.1.6	<i>CML</i> .....	39
2.5.1.7	<i>EDIP</i> .....	39
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	40
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	42
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	48
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	50
	<b>ANEXO A – INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL DA BASE DE DADOS “EDIP”</b> .....	54
<b>A.1</b>	<b>Indicadores de impacto ambiental na usinagem do aço</b> .....	54
<b>A.2</b>	<b>Indicadores de impacto ambiental na usinagem do aço-cromo</b> .....	58
<b>A.3</b>	<b>Indicadores de impacto ambiental na usinagem do ferro fundido</b> .....	62
<b>A.4</b>	<b>Indicadores de impacto ambiental na usinagem do alumínio</b> .....	66
<b>A.5</b>	<b>Indicadores de impacto ambiental na usinagem do latão</b> .....	70



## 1 INTRODUÇÃO

Os diversos processos de fabricação mecânica, tais como fundição, soldagem, metalurgia do pó, conformação plástica e usinagem, mostraram-se fundamentais no desenvolvimento técnico e científico da humanidade, ao longo de toda sua existência. Hoje, tais processos mostram-se indispensáveis às economias de todo o planeta, que se encontram em constante desenvolvimento e cada vez mais globalizadas.

Dentre os numerosos processos de fabricação mecânica, este trabalho se restringe à usinagem, mais especificamente a alguns processos tradicionais de usinagem (furação, fresagem e torneamento, tanto convencionais quanto por comando numérico computadorizado, mais conhecido pela sigla “CNC”, em inglês “Computer Numeric Control”). Foram considerados, aqui, alguns tipos de materiais metálicos, mais especificamente aço, aço-cromo, ferro fundido, alumínio e latão.

Produtos criados a partir de processos de fabricação possuem seus próprios ciclos de vida. Podemos dizer, resumidamente, que o ciclo de vida de um produto começa com a obtenção da matéria-prima e se encerra no seu descarte, após tornar-se inutilizável ou obsoleto. Várias das etapas do ciclo de vida de um produto geram impactos ao meio ambiente.

Todas as atividades desempenhadas pela humanidade geram, em maior ou menor intensidade, impactos ao meio ambiente, restando-nos apenas a opção de reduzi-los, sempre que possível, buscando, por exemplo, o aumento da eficiência dos incontáveis processos desempenhados a todo momento e a conseqüente redução de desperdícios. Com os processos tradicionais de usinagem não seria diferente, e esse trabalho visa explicitar os principais impactos gerados por alguns desses processos, dentro de várias categorias de impacto ambiental, com seus respectivos indicadores.

Os vários indicadores de impacto utilizados nesse trabalho foram obtidos utilizando-se uma versão de um software de análise de impacto de ciclo de vida, o Ganzheitliche Bilanzierung (GaBi, em inglês “Holistic accounting”), junto com o emprego de sete bases de dados contidas no software: International Reference Life Cycle Data System (ILCD), Impact, ReCiPe, Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI), Umweltbelastungspunkte (UBP, em inglês “Ecological Scarcity Method”), Centrum voor Milieuwetenschappen (CML, em inglês “Institute of Environmental Sciences”) e Environmental Development of Industrial Products (EDIP).

## 1.1 Objetivos

- Com os dados que foram fornecidos, apontar quais são, dentre as variantes de processos de usinagem consideradas no trabalho, a de maior e a de menor impacto ao meio ambiente, segundo todas as bases de dados utilizadas;
- Elaborar o ranking geral de impacto ambiental considerando todas as variantes de processos de usinagem consideradas, da de maior à de menor impacto, segundo todas as bases de dados utilizadas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segue uma breve descrição teórica dos conteúdos abordados por esse trabalho. São eles os processos tradicionais de usinagem, os metais, o ciclo de vida dos produtos, as categorias de indicadores de impactos ambientais e o GaBi.

### 2.1 Os processos tradicionais de usinagem

Os processos tradicionais de usinagem são aqueles que utilizam ferramentas com pelo menos uma aresta cortante (o gume) para a retirada de material de diversos tipos de peça, por meio da superação de sua resistência máxima em cisalhamento, tendo o material no qual essas ferramentas são fabricadas, necessariamente, uma dureza maior do que a do material que está sendo usinado. O material retirado nesses processos é conhecido como cavaco (Figura 1), existente em diversos formatos.

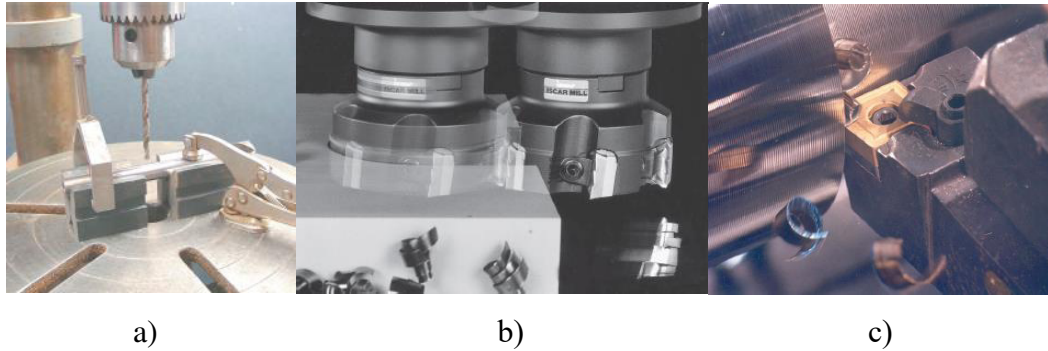
Figura 1 – Diferentes formatos de cavaco



Fonte: FITZPATRICK (2014, p.91)

Alguns dos processos tradicionais de usinagem são a furação, a fresagem e o torneamento, ilustrados na Figura 2.

Figura 2 – a) Furação; b) Fresagem; c) Torneamento



Fonte: FITZPATRICK (2014, a) p.294; b) p.420; c) p.368)

A maioria desses processos utiliza fluidos de corte (Figura 3), que possuem funções como refrigerar, lubrificar, auxiliar na retirada do cavaco e, ainda, proteger contra a oxidação.

Figura 3 – Fluido de corte



Fonte: FITZPATRICK (2014, p.14)

### ***2.1.1 Usinagem Convencional e Usinagem CNC***

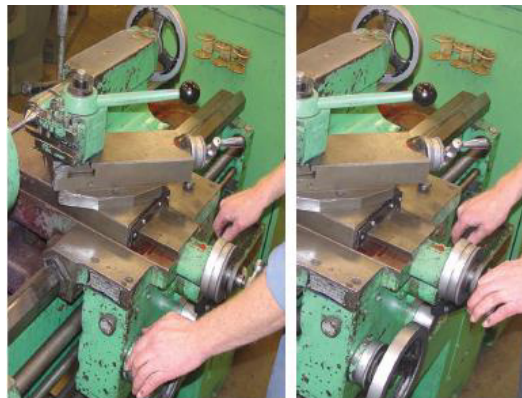
Os processos tradicionais de usinagem podem ser realizados de forma convencional ou CNC.

Quando tais processos são realizados de forma convencional, faz-se necessária a presença de um operador que controle ativamente, de forma manual, todo o processo (ver Figura 4).

Os processos CNC se tornam necessários (ou simplesmente viáveis do ponto de vista econômico), sobretudo, quando se há a necessidade de fabricar peças de geometria muito complexa ou na usinagem de muitas peças iguais. Dessa forma, nos processos por comando

numérico computadorizado, o operador controla apenas o trabalho (além de acompanhar a usinagem, corrigindo eventuais discordâncias), que é realizado totalmente e de forma automatizada pela máquina (ver Figura 5). O trabalho é controlado por meio de um algoritmo, na forma de um programa, contendo comandos numéricos (um código contendo instruções dadas à máquina pelo operador-programador).

Figura 4 – Torneamento convencional



Fonte: FITZPATRICK (2014, p.377)

Figura 5 – Fresadora CNC



Fonte: Site Mecânica Industrial<sup>5</sup>

### **2.1.2 A Furação**

A furação é uma operação de usinagem que visa abrir furos em peças. Utiliza, para isso, um tipo de ferramenta de corte, chamada broca (responsável pela realização do furo e pela remoção de cavaco), que é acoplada a uma máquina elétrica ou pneumática, chamada

---

<sup>5</sup> Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/637-fresadora-cnc-aumenta-a-productividade-em-componentes-de-usinagem/>> Acesso em Março de 2018.

furadeira (Figura 6), responsável por conferir um movimento de rotação à broca.

Figura 6 – Furadeira padrão



Fonte: FITZPATRICK (2014, p.273)

Um dos tipos de broca mais encontrados na indústria é a broca helicoidal (Figura 7), que possui uma forma cilíndrica e duas arestas de corte.

Figura 7 – Broca helicoidal



Fonte: FITZPATRICK (2014, p.303)

### **2.1.3 A Fresagem**

A fresagem é um processo de fabricação bastante abrangente, uma vez que permite usinar peças de formatos diferentes, com diferentes tipos de superfície, ao se acoplar na fresadora (Figura 8), que é a máquina operatriz utilizada na fresagem, diferentes ferramentas e dispositivos. As ferramentas utilizadas na fresagem são as fresas, que existem em diversos tipos, como os cabeçotes de fresamento (Figura 9), por exemplo. É possível,

ainda, utilizar uma fresadora para a realização de operações de furação, acoplando-a com uma broca.

Figura 8 – Fresadora universal



Fonte: Blog Tecmecânico<sup>8</sup>

Figura 9 – Cabeçotes de fresamento



Fonte: FITZPATRICK (2014, p.393)

#### 2.1.4 O Torneamento

O torneamento é um dos processos tradicionais de usinagem mais antigos e amplamente utilizados na indústria, sendo realizado por meio de um tipo de máquina operatriz chamada torno. Consiste, de forma simplificada, em dar forma a uma peça que gira em torno de seu próprio eixo, enquanto parte de seu material é removido por uma ferramenta de corte.

<sup>8</sup> Disponível em: <<https://tecmecanico.blogspot.com.br/2011/10/fresadoras.html>> Acesso em Maio de 2018.

Assim como a fresagem, também é um processo bastante versátil, podendo ser utilizado para dar origem a vários tipos de peças com características diferentes, além de também poder realizar furos.

Um dos tipos de torno encontrados na indústria é o torno CNC (Figura 10), sendo bastante utilizado para a fabricação de peças em larga escala.

Figura 10 – Torno CNC



Fonte: FITZPATRICK (2014, p.353)

Há diversos tipos de ferramentas que podem ser acopladas a um torno, com diversas finalidades, como a ferramenta destinada ao corte (Figura 11).

Figura 11 – Ferramentas de corte



Fonte: FITZPATRICK (2014, p.353)

## 2.2 Os metais

Os metais (Figura 12) foram extremamente importantes no desenvolvimento das sociedades, sendo utilizados, ainda na pré-história, para a confecção de ferramentas mais eficientes que as de pedra, existentes à época.

Atualmente, os metais são utilizados em um número muito grande de aplicações, em atividades industriais, agrícolas, de pesquisa acadêmica, de construção civil e até mesmo em atividades residenciais, presentes, por exemplo, em utensílios de cozinha, eletrodomésticos, eletroeletrônicos, peças de mobília, embalagens de alimentos, etc. Além de todas as aplicações já citadas, também se encontram em abundância em praticamente todos os meios de transporte, da bicicleta ao ônibus espacial.

Os metais são recicláveis, havendo uma grande vantagem quanto à economia da energia necessária para produzi-los (desde a extração do minério até o seu beneficiamento), além de um menor consumo de água e menor quantidade de poluentes lançados na atmosfera.

Figura 12 - Metais



Fonte: Site Conceito.de<sup>12</sup>

### 2.2.1 O Aço

Apesar do ferro ser conhecido pela humanidade desde a pré-história, o aço (exemplificado em vergalhões de aço, Figura 13), que é uma liga metálica contendo ferro e carbono (podendo conter, também, outros elementos químicos) só foi desenvolvido em 1856.

Mais resistente que o ferro fundido, passou a ser muito utilizado para fins industriais. Também é facilmente encontrado em máquinas agrícolas, meios de transporte, construção civil, embalagens de alimentos, aparelhos domésticos, etc.

Segundo a Worldsteel, a produção mundial de aço foi, no ano de 2014, de aproximadamente 1,66 bilhão de toneladas. Na natureza, latas de aço levam, em média, três anos para se deteriorarem.

<sup>12</sup> Disponível em: <<https://conceito.de/metais>> Acesso em Junho de 2018.



Figura 13 – Vergalhões de aço



Fonte: Site da Radio New Zealand<sup>13</sup>

### **2.2.2 O Aço-Cromo**

A primeira liga de aço-cromo foi patenteada em 1865, pelo metalurgista norte-americano Julius Baur, e produzida pela Chrome Steel Company, no Brooklyn, em Nova Iorque.

O aço-cromo (exemplificado em vergalhões de aço, Figura 14) é utilizado na fabricação de rolamentos, ferramentas, brocas e utensílios. Também é frequentemente utilizado para fins decorativos, em peças de mobília, além de conferir um melhor acabamento a algumas peças de automóveis.

Figura 14 – Faca de aço-cromo



Fonte: Wikipedia<sup>14</sup>

### **2.2.3 O Ferro Fundido**

O ferro fundido (exemplificado em uma mesa de fresadora, Figura 15) começou a ser utilizado pela humanidade no século V A.C, na China, para a fabricação de arados e potes. No ocidente, só passou a ser utilizado a partir do século XV.

---

<sup>13</sup> Disponível em: <<https://www.radionz.co.nz/news/national/331023/mbie-drags-heels-on-steel-testing>> Acesso em Junho de 2018.

<sup>14</sup> Disponível em: <[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Chromed\\_steel\\_knife.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d3/Chromed_steel_knife.jpg)> Acesso em Agosto de 2018.

Quanto à utilização do ferro fundido, podemos encontrá-lo, por exemplo, em blocos, cabeçotes e coletores de motores automotivos, engrenagens, componentes de suspensão de carros e caminhões e carcaças de turbinas eólicas.

Alguns dos principais tipos de ferro fundido existentes são o cinzento, o nodular e o branco.

Figura 15 – Mesa de fresadora de ferro fundido



Fonte: FITZPATRICK (2014, p.89)

#### ***2.2.4 O Alumínio***

O alumínio (exemplificado em latas de alumínio, Figura 16) já chegou a ser considerado um metal precioso, tendo mais valor econômico até mesmo que o ouro, visto que o processo para separá-lo das rochas, quando encontrado na natureza, é bastante complexo, só passando a ser produzido em escala industrial a partir do final do século XIX.

Entre as diversas aplicações do alumínio, podemos citar: construção civil (portas, janelas, portões, etc.), utensílios de cozinha, elemento estrutural em alguns meios de transporte (principalmente embarcações, sendo bastante utilizado também na indústria aeroespacial) e embalagens de alimentos (como as Tetra Pak, por exemplo).

Figura 16 – Latas de alumínio



Fonte: Site da Thamesdown Recycling<sup>16</sup>

### 2.2.5 O Latão

Liga metálica composta por zinco (Zn) e cobre (Cu), o latão (exemplificado em componentes de latão, Figura 17) já vem sendo utilizado pela humanidade há mais de dois mil anos. Foi utilizado, nas antigas civilizações grega e romana, por exemplo, na fabricação de utensílios domésticos, joias e armaduras.

Atualmente, o latão é destinado aos mais diversos fins. É bastante utilizado em decoração, sendo encontrado, por exemplo, em torneiras, fechaduras e até mesmo em obras de artes plásticas e esculturas. Na indústria mecânica, podemos encontra-lo em algumas ferramentas e em diversos componentes, como válvulas, rolamentos, engrenagens e outros componentes de máquina.

Figura 17 – Componentes de latão



Fonte: FITZPATRICK (2014, p.88)

<sup>16</sup> Disponível em: <<https://www.thamesdownrecycling.co.uk/aluminium-and-steel-cans/>> Acesso em Junho de 2018.

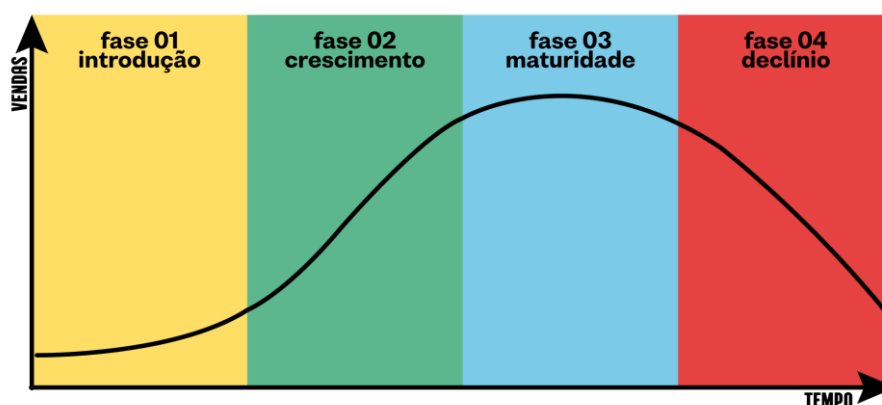
## 2.3 Ciclo de vida dos produtos

Após um produto ser idealizado, temos que a primeira atividade necessária para que ele passe a existir é a extração ou compra da matéria-prima, sendo logo seguida pela sua fabricação.

O produto entra para o mercado quando passa a ser fabricado. É a fase do ciclo conhecida como “introdução”, na qual geralmente há um baixo volume de vendas e produção. Em seguida, na fase “crescimento”, o produto começa a se consolidar no mercado, além de passar a ter concorrentes. Segue a maturidade do produto, fase na qual a concorrência se acirra e os lucros tornam-se estáveis ou diminuem. Por fim, quando a queda no lucro se acentua e as vendas começam a cair, temos a fase conhecida como “declínio” (é aqui também que o consumidor costuma descartar o produto).

As fases do ciclo de vida dos produtos encontram-se ilustradas no “Gráfico 1”.

Gráfico 1 – Ciclo de vida dos produtos



Fonte: Site da Friendslab<sup>1</sup>

## 2.4 Categorias de indicadores de impacto ambiental

Entende-se por impacto ambiental as mais variadas formas pelas quais ações humanas ou de ordem natural afetam o meio ambiente e os seus ecossistemas, modificando, dessa maneira, as condições normais de funcionamento da natureza.

Segue adiante uma lista contendo descrições das categorias dos indicadores de impacto ambiental fornecidos pelo GaBi que foram utilizados nesse trabalho.

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://friendslab.co/o-que-e-ciclo-de-vida-do-produto/>> Acesso em Julho de 2018.

### **2.4.1 Acidificação**

Há três principais tipos de processos de acidificação: oceânica, de água doce e dos solos.

A acidificação oceânica decorre da absorção, por parte dos oceanos, de parte do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) contido na atmosfera (estima-se que entre 30 e 40% do gás carbônico produzido em decorrência de atividades humanas acabe por ser dissolvido nos oceanos). Esse fenômeno impacta diretamente os ecossistemas oceânicos, ocasionando, por exemplo, o fenômeno do branqueamento dos corais, além de dificultar a síntese biogênica de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), constituinte essencial de conchas e placas de diversas espécies marinhas. A acidificação oceânica também tem um grande potencial de impacto nas indústrias de pescados e frutos do mar de todo o planeta.

A acidificação de rios e lagos ocorre principalmente devido à chuva ácida. Também pode ser ocasionada devido ao derretimento de neve ácida ou devido a longos tempos de estiagem, pela oxidação do enxofre do solo (formado durante a seca) após a volta das chuvas, formando ácidos, e pelo uso de fertilizantes nitrogenados em áreas próximas a esses rios e lagos. Entre os efeitos, podemos citar a retenção de fósforo, a liberação de metais pesados e a modificação de ecossistemas.

A chuva ácida também é responsável pela acidificação dos solos. Também podem acidificar o solo o sulfato de alumínio e compostos nitrogenados de fertilizantes agrícolas, além da varredura de cátions, como cálcio e potássio, pela água da chuva (erosão pluvial). Um desequilíbrio na acidez do solo impacta diretamente no crescimento das plantas e na atividade microbiana.

### **2.4.2 Eutrofização**

O fenômeno da eutrofização (representado por meio de um rio eutrofizado, Figura 18) ocorre em rios, lagos, lagoas e áreas marinhas próximas à costa, quando há uma abundância de oferta de algum fator limitante de crescimento para a realização da fotossíntese, seja gás carbônico, luz solar ou fertilizantes. A ação humana, em atividades tais como a agricultura, a indústria e o despejo de esgoto, tem aumentado a velocidade com que os sintomas da eutrofização se manifestam, além da sua extensão, devido ao despejo de nutrientes limitantes, como fósforo e nitrogênio, nessas massas de água.

A eutrofização é a principal causa de prejuízos a muitos ecossistemas aquáticos, com consequências dramáticas no hábitat de peixes. Afeta também a qualidade de fontes de água potável, ocasiona o crescimento exagerado de populações de cianobactérias e o fenômeno da hipóxia (baixa concentração de oxigênio dissolvido na água).

Figura 18 – Rio eutrofizado



Fonte: Wikipedia<sup>18</sup>

### ***2.4.3 Aquecimento Global***

Muitos cientistas concordam que diversas atividades humanas têm contribuído para uma acentuação do efeito estufa, devido a um conseqüente aumento na concentração atmosférica de gases tais como o vapor d'água (H<sub>2</sub>O), o metano (CH<sub>4</sub>), o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), o que ocasiona o aquecimento global. Resultam de atividades humanas, por exemplo, o dióxido de carbono proveniente da queima de combustíveis fósseis e a geração de metano como conseqüência da decomposição de lixo em aterros sanitários.

Entre algumas conseqüências do aquecimento global, podemos citar o aumento da temperatura média do planeta (que atualmente é de cerca de 15 °C), uma desestabilização dos fenômenos climáticos globais (com algumas regiões presenciando épocas chuvosas mais intensas, enquanto que outras podem vir a enfrentar secas mais prolongadas, por exemplo), derretimento das calotas polares e elevação do nível dos oceanos, com alagamentos em regiões costeiras.

### ***2.4.4 Efeito fotoquímico***

A formação fotoquímica de ozônio está associada com a oxidação de componentes orgânicos voláteis (componentes orgânicos com ponto de ebulição inferior a 250°C e que possuem hidrogênio ou ligações duplas) e monóxido de carbono (CO), na presença de óxidos de nitrogênio (óxido nítrico e dióxido de nitrogênio, que possuem um efeito catalítico) e luz

---

<sup>18</sup> Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Eutrophication>> Acesso em Julho de 2018.

solar, ocorrendo na região inferior da troposfera, que vai da superfície da Terra até uma altura de aproximadamente 1 km. Embora, por definição, o metano seja um componente orgânico volátil, praticamente não contribui para a formação fotoquímica do ozônio, visto que sua reatividade fotoquímica é muito baixa.

Os foto-oxidantes causam danos à saúde de humanos, animais e plantas. Durante a ocorrência de smog, a concentração de ozônio e outros foto-oxidantes costuma atingir níveis extremos, causando danos à saúde de seres humanos. Estima-se que a concentração de ozônio na troposfera aumente por volta de 1% ao ano no hemisfério norte.

#### ***2.4.5 Deterioração da Camada de Ozônio***

A deterioração da camada de ozônio é ocasionada pela liberação de poluentes contendo os elementos químicos cloro e bromo, e os principais agentes causadores do problema são as substâncias químicas conhecidas como clorofluorcarbonetos (CFC's), banidas pelos Estados Unidos e pelas nações europeias em 1996 e que estiveram presentes durante décadas em aerossóis bastante utilizados nesses países.

As moléculas de CFC, ao atingirem as camadas superiores da atmosfera, são expostas à radiação ultravioleta proveniente dos raios solares, fazendo com que se quebrem, formando novas substâncias, entre elas o cloro. O cloro reage com o oxigênio presente nas moléculas de ozônio ( $O_3$ ), fazendo com que elas deixem de existir.

O gradual desaparecimento da camada de ozônio acarreta numa maior incidência de radiação ultravioleta B (UVB) na superfície terrestre, relacionada com a ocorrência de casos de câncer de pele e catarata entre a população. Além disso, uma maior incidência desse tipo de radiação acarreta na inibição do ciclo reprodutivo do fitoplâncton, seres vivos que são base de inúmeras cadeias alimentares, além de modificar as taxas reprodutivas de várias espécies de anfíbios, peixes e crustáceos.

#### ***2.4.6 Ecotoxicidade***

A ecotoxicidade é o conjunto dos potenciais efeitos adversos que uma determinada substância química pode trazer a um receptor terrestre ou aquático, sendo objeto de estudo da ecotoxicologia. Ela é baseada nas propriedades toxicológicas dessa substância química e na susceptibilidade do organismo em questão.

Entre as principais substâncias poluidoras, podemos citar, por exemplo, o ftalato de dietila (oriundo principalmente de indústrias de cosméticos, plásticos, entre outras), pesticidas, o climbazol (fungicida encontrado em shampoos anticaspa), o bisfenol A (presente em dispositivos médicos, embalagens de alimentos, cosméticos, brinquedos, computadores, etc.), alguns produtos de limpeza, sabão para lavar roupa, amaciantes, desinfetantes, petróleo e fosfatos.

#### ***2.4.7 Agentes Cancerígenos***

O câncer tem início a partir da ocorrência de uma mutação no DNA de uma célula. Essa mutação pode ter influência hereditária, através de características herdadas dos pais, ou pode ser influenciada por fatores externos (chamados geralmente de “fatores ambientais”), como exposições de ordem natural (radiação ultravioleta, gás radônio, agentes infecciosos, etc.), drogas hormonais ou que afetem o sistema imunológico, fatores relacionados ao estilo de vida (má alimentação, hábito de fumar, sedentarismo, etc.), exposições a determinadas substâncias tanto no local de trabalho quanto em casa e poluição.

Às substâncias e tipos de exposição que podem levar ao surgimento de um câncer damos o nome de “agentes cancerígenos”. Alguns desses agentes não afetam diretamente o DNA, mas podem vir a influenciar no surgimento de um câncer, por elevar a taxa de divisão celular para um valor acima do normal, por exemplo, o que aumenta a chance de alguma mutação vir a ocorrer. Além disso, agentes cancerígenos não vão sempre dar origem a um câncer, dependendo de vários fatores, como predisposição genética e nível, tempo e forma de exposição.

#### ***2.4.8 Agentes Não-Cancerígenos***

As emissões de agentes não-cancerígenos podem ser avaliadas em termos de equivalentes de tolueno, já as toxicidades desses agentes são representadas pelas suas respectivas doses seguras.

#### ***2.4.9 Radiação Ionizante***

Chamamos de radiação ionizante todo tipo de radiação com energia suficiente para, ao interagir com um átomo, retirar-lhe elétrons, transformando-o em um íon carregado



positivamente. Apenas radiação eletromagnética de alta frequência é considerada ionizante (raios-x e gama).

Existem muitas fontes naturais de radiação às quais os seres humanos encontram-se frequentemente expostos, presentes no ar, no solo, nos alimentos e na água. A principal fonte natural de radiação é o gás nobre radônio, liberado tanto por rochas quanto pelo solo. Há, também, várias fontes de radiação de origem humana, como, por exemplo, a que decorre de processos de geração de energia nuclear e as que são utilizadas na medicina, tanto para diagnóstico quanto para tratamento.

Entre as consequências da exposição a grandes doses de radiação, podemos citar prejuízos a órgãos e tecidos, vermelhidão na pele, queda de cabelo e queimaduras em decorrência da radiação. Mesmo exposições a baixas doses de radiação podem ser prejudiciais a longo prazo, aumentando o risco de desenvolvimento de câncer, por exemplo.

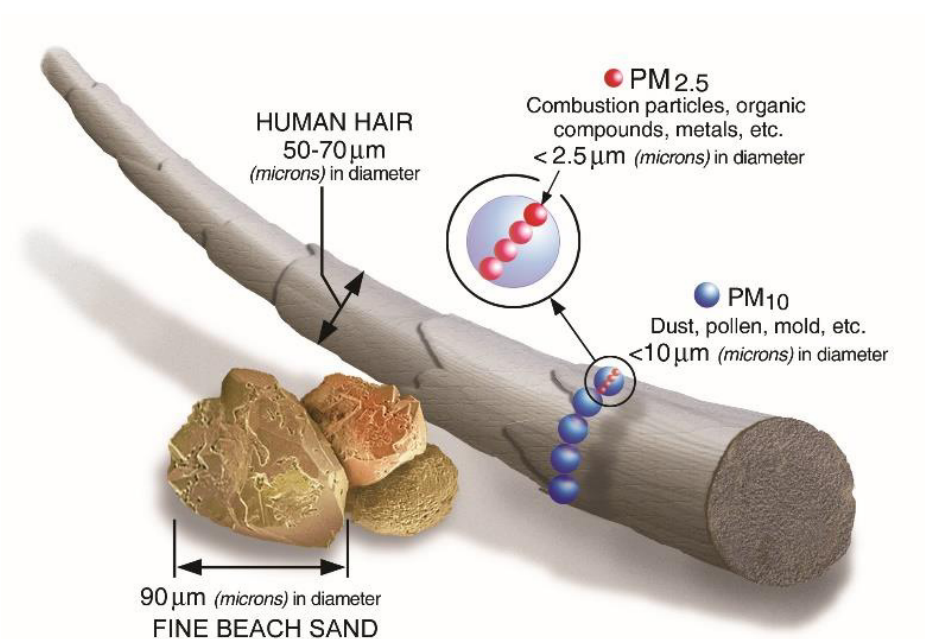
#### ***2.4.10 Particulado***

Material particulado (conhecido pela sigla em inglês “PM”) ou poluição particulada são partículas extremamente pequenas de algum material sólido ou gotículas de algum líquido que estão em suspensão no ar. Há duas classes principais de material particulado (que são apresentadas em escala na figura 19): uma que contém partículas com diâmetro menor que 2,5  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) e outra que abrange partículas com diâmetro entre 2,5  $\mu\text{m}$  e 10  $\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ).

Existem diversos tipos de origem para as centenas de variedades de material particulado. Alguns materiais podem provir de incêndios, chaminés, canteiros de obras ou estradas não asfaltadas, por exemplo, mas a maioria deles se origina de reações químicas que ocorrem na atmosfera, decorrentes de certas substâncias emitidas por usinas, indústrias e automóveis.

Caso venham a ser aspiradas, essas partículas podem vir a causar sérios danos a órgãos tais como os pulmões e o coração.

Figura 19 – Material particulado em escala



Fonte: Site da EPA<sup>19</sup>

#### 2.4.11 Terra

O uso da terra envolve a modificação de um espaço físico natural e selvagem (como uma floresta, um bosque ou uma pradaria) em um espaço de alguma forma alterado e construído pela ação humana, como vilas, aldeias, cidades e estradas (modificações mais profundas no meio) ou campos agricultáveis, pastos e áreas de extração madeireira (modificações seminaturais). O grau de modificação de uma determinada área encontra-se atrelado à quantidade de atividades ali realizadas por pessoas.

Estima-se que, a partir dos anos 90, 13% das terras emersas são representadas por áreas agricultáveis, 26% por pastos, 32% por florestas e 1,5% por áreas urbanas.

A coleta de dados a respeito do uso da terra pode fazer com que sejam evitados impactos negativos no meio, como excesso de salinidade ou carência de nutrientes no solo ou poluição de fontes de água, além de influir diretamente na preservação da flora e da fauna locais. Atualmente, os principais efeitos decorrentes do uso da terra incluem expansão urbana, salinização, erosão e desertificação do solo.

<sup>19</sup> Disponível em: <<https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics#PM>> Acesso em Agosto de 2018.

### **2.4.12 Energia**

A humanidade necessita de energia para a realização de trabalho, basicamente. Essa energia encontra-se armazenada na forma de diversos tipos de combustível (sendo os combustíveis fósseis os mais utilizados atualmente), podendo nós empregá-los para produzir calor, mover objetos, produzir eletricidade, etc. O consumo de energia pela humanidade encontra-se em crescimento constante, sendo a demanda atual por pessoa cerca de cento e dez vezes maior do que a que existia à época dos primeiros seres humanos.

As fontes fundamentais de energia utilizadas pela humanidade são a solar (decorrente das reações de fusão nuclear que ocorrem no interior do Sol), a gravitacional (devido aos campos gravitacionais terrestre e lunar), as reações de fissão nuclear, a energia proveniente do interior da Terra (geotérmica) e a energia armazenada nas ligações químicas.

### **2.4.13 Água**

Recurso hídrico é qualquer fonte de água (independente do estado físico em que se apresenta), presente na Terra e que tem o potencial de ser utilizado pela humanidade de alguma forma. Incluem-se na categoria de recursos hídricos os oceanos, rios, lagos, lençóis freáticos, calotas polares, etc.

Observa-se que a utilização dos recursos hídricos pela humanidade vem aumentando ao longo dos séculos, e a tendência é continuar a crescer, visto que a população mundial encontra-se em crescimento. Esse aumento na demanda por água está presente, sobretudo, na crescente necessidade de fontes de água doce, para fins agrícolas, industriais e recreativos, por exemplo.

Além da quantidade, a qualidade da água também é uma grande preocupação (qualidade essa que encontra uma diminuição principalmente devido ao uso excessivo dessas fontes). Entre alguns poluentes dos recursos hídricos, podemos citar os fertilizantes minerais, como fosfatos e nitratos, pesticidas, esgoto despejado indevidamente e lixo industrial descartado inadequadamente.

### **2.4.14 Poluição do Ar Atmosférico (Smog)**

A ocorrência de smog (termo que se origina da junção das palavras de língua inglesa “smoke” e “fog”) se deve exclusivamente à liberação de poluentes no ar, oriundos da queima

de combustível em veículos e atividades industriais. Poluentes tais como certos componentes orgânicos voláteis, dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) reagem fotoquimicamente com os raios solares, formando o smog.

O smog (Figura 20) é bastante prejudicial aos seres vivos. Em seres humanos, a ocorrência do smog está associada a um aumento de casos de doenças nos brônquios e nos pulmões, incluindo câncer de pulmão; raquitismo (devido a uma maior dificuldade na síntese de vitamina D), irritação nos olhos, resfriado, pneumonia e crises de asma (principalmente em idosos, crianças e pessoas que já sofrem de doenças cardíacas ou respiratórias). Tal poluição também impacta no crescimento de plantas, com grandes danos a plantações e matas nativas, além de estar relacionada com a diminuição de populações de várias espécies de animais.

Figura 20 – Ocorrência de smog em Nova Délhi, Índia



Fonte: Site da AccuWeather<sup>20</sup>

#### **2.4.15 Metais Pesados**

Entende-se por metais pesados aqueles com massa atômica elevada e com uma densidade pelo menos cinco vezes superior à da água. Devido a suas elevadas toxicidades, mercúrio, chumbo, cromo, cádmio e arsênio são vistos com grande preocupação por entidades de saúde.

Metais pesados são encontrados naturalmente na crosta terrestre, mas a maioria dos casos relatados de danos causados ao meio ambiente e a seres humanos por esses metais estão relacionados a atividades humanas em que eles são utilizados, como mineração, fundição, uso e produção industriais (indústria farmacêutica, processamento de metais em refinarias, combustão de carvão e petróleo, usinas nucleares e fabricação de plásticos, têxteis, microeletrônicos e papel, por exemplo) e aplicações domésticas e agrícolas. Entre outras

---

<sup>20</sup> Disponível em: <<https://www.accuweather.com/en/weather-news/india-no-relief-from-dangerous-smog-in-new-delhi-through-at-least-early-next-week/70003224>> Acesso em Agosto de 2018.

fontes responsáveis por metais pesados no meio ambiente, podemos citar processos que ocorrem de forma natural, como erupções vulcânicas, intemperismo e atividades atmosféricas.

Os efeitos da contaminação por metais pesados são diversos, como danos a órgãos (mesmo em baixos níveis de exposição), câncer e danos a organelas e componentes celulares.

#### **2.4.16 Substâncias Radioativas**

Substâncias radioativas são aquelas que emitem energia (na forma de ondas ou partículas) através de um meio, podendo esse meio ser o vácuo ou algum material. A atividade radioativa presente nessas substâncias ocorre devido ao fato de serem compostas por radionuclídeos (átomos que apresentam energia excessiva e um núcleo instável), que emitem radiação gama enquanto sofrem o processo de decaimento radioativo.

Nos oceanos, a presença de substâncias radioativas se dá principalmente devido a acidentes nucleares, armazenamento de lixo nuclear em águas profundas, testes de armas nucleares e afundamento de submarinos nucleares. Outras fontes de atividades que resultam em liberação de substâncias radioativas no meio ambiente são a exploração de petróleo e o processamento do fosfato de rochas. Atividade radioativa pode estar presente em gases, líquidos ou sólidos e pode durar de poucas horas a centenas de milhares de anos.

Entre os efeitos da radiação nos seres vivos, podemos citar danos ao material genético, causando câncer ou problemas de gestação. Maiores doses podem levar a uma diminuição da quantidade de células no sangue ou até mesmo ocasionar morte súbita.

### **2.5 O GaBi**

O GaBi é um software para análise de impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida (tanto produção quanto uso e descarte) de produtos, processos e serviços. Esse método de análise de impactos é útil como ferramenta para a tomada de decisões (políticas ou não-políticas) baseadas em fatores ambientais, além de também ser utilizado para o aperfeiçoamento de produtos e no marketing de empresas.

O primeiro procedimento a ser tomado na análise de um ciclo de vida consiste na definição e delimitação de todos os fluxos de matéria e energia (ou seja, todos os processos) ao longo do ciclo de vida de um produto. Após isso, monta-se um inventário, considerando o ciclo de vida como um todo, contendo todas as emissões no ar, solo, água e todos os recursos

extraídos da natureza. Por fim, avalia-se as contribuições aos diversos tipos de impactos ambientais em potencial, como eutrofização e aquecimento global, por exemplo.

Vários estudos enfatizam a contribuição do GaBi na estimativa de impactos ambientais decorrentes de uma cadeia de produção, embora outras pesquisas questionem a confiabilidade dos dados apresentados pelo software.

### ***2.5.1 As Bases de Dados do GaBi***

Segue abaixo uma descrição sucinta das bases de dados do GaBi utilizadas neste trabalho:

#### *2.5.1.1 ILCD*

A escolha da base ILCD sobre as alternativas existentes influencia nos indicadores de impacto de radiação ionizante, uso da terra e todos os indicadores relacionados a impactos de toxidade. Abrange os indicadores “ocupação da terra” e “transformação da terra”.

Comparada com as bases “Impact 2002+” e “ReCiPe 2008”, é a única que contém o indicador “impactos da radiação ionizante nos ecossistemas”.

#### *2.5.1.2 Impact*

Quando comparada com as bases “ILCD 2009” e “ReCiPe 2008” é a única base de dados que contém o indicador de impacto “acidificação dos meios aquáticos”. Também se comparada às bases citadas, dá um peso especial a impactos oriundos de emissões de metais. A Impact 2002+ não abrange o indicador “transformação da terra”, somente “ocupação de terra”. Abrange os indicadores “acidificação da terra” e “eutrofização terrestre”.

Há diferenças significativas entre as bases Impact2002+ dos softwares GaBi e SimaPro.

#### *2.5.1.3 ReCiPe*

Pode ser vista como a fusão de duas metodologias: CML (indicadores intermediários) e Ecoindicator (indicadores finais). Todos os indicadores intermediários e finais estão disponíveis em três versões, levando em conta três perspectivas culturais diferentes: individualista (baseado no interesse de curto prazo, da ordem de 20 anos, e em tipos de impactos que são incontestáveis), hierarquista (baseado na situação de médio prazo, da ordem de 100 anos) e igualitário (cuja perspectiva é a de maior precaução, analisando impactos de longo prazo, da ordem de 500 anos, e que ainda não são um consenso, mas que para os quais alguns indicadores já se encontram disponíveis).

Na ReCiPe 2008, os fatores de conversão de unidade para o indicador de impacto “ocupação de terra” são iguais a 1 e a base não abrange o indicador “transformação da terra”. Também não abrange o indicador “eutrofização terrestre”.

#### 2.5.1.4 TRACI

Metodologia desenvolvida originalmente para uso nos Estados Unidos, é principalmente uma abordagem intermediária e ilustra relações simples de causa e efeito para mostrar o ponto no qual cada categoria de impacto é caracterizada.

Entre os indicadores de impacto abordados podemos citar, por exemplo, “deterioração da camada de ozônio”, “aquecimento global” e “impacto gerado pelos combustíveis fósseis”.

#### 2.5.1.5 UBP

O “Método da Falta de Recursos Ecológicos” permite a avaliação de impactos decorrente de registros de ciclo de vida de acordo com o princípio da “distância ao alvo”.

Seus fatores ecológicos, expressos como “eco-points” por unidade de emissão poluente ou extração de recurso, são normalizados de acordo com as atuais emissões (ou níveis de extração) na Suíça, e ponderados de acordo com a política nacional suíça de metas, ou com metas internacionais apoiadas por aquele país.

Os fatores ecológicos da UBP são implementados em dezoito indicadores de impacto diferentes, entre eles “aquecimento global”, “poluentes dos meios aquáticos” e “efeito dos pesticidas no solo”.

#### 2.5.1.6 CML

O CML 2001 é desenvolvido no “Instituto de Ciências do Meio-Ambiente”, na Universidade de Leiden, nos Países Baixos, e é publicado em um manual de vários autores diferentes. É um método de avaliação de impacto que restringe a modelagem quantitativa para estágios iniciais da cadeia de causa e efeito, visando limitar incertezas.

Fatores de normalização para o CML 2001 estão disponíveis especificamente para as categorias “Países Baixos”, “Europa Ocidental”, “União Europeia” e “Mundo”.

#### 2.5.1.7 EDIP

Método desenvolvido pelo “Institute for Product Development” (IPU), na “Technical University of Denmark”. Calcula impactos intermediários e fornece resultados muito próximos à metodologia CML no que se refere a geradores potenciais do aquecimento global e de eutrofização, assim como a maioria das outras categorias de impacto ao meio ambiente.

Diferenças foram observadas entre os valores caracterizados dados pela metodologia EDIP 2003 nos softwares GaBi e SimaPro, sendo as maiores diferenças notadas nos indicadores de impacto “formação fotoquímica de ozônio (exposição humana)”, com uma razão de 91,6, e “aquecimento global”, com uma razão de 2,8.

### 3 METODOLOGIA

Foram obtidos, por meio de bases de dados do GaBi, valores amostrais de grandezas físicas que caracterizam quantitativamente vários indicadores de impacto ambiental, indicadores esses que estão contidos em categorias de impacto ambiental. Nenhuma das sete bases de dados utilizadas no trabalho possui indicadores para todas as categorias de impacto ambiental consideradas, podendo a presença ou ausência dessas categorias em cada base ser resumida na Tabela 1 (na qual as linhas representam as categorias de impacto ambiental e as colunas, as bases do GaBi utilizadas):

Tabela 1 – Categorias de impacto ambiental presentes em cada base de dados.

	ILCD	Impact	ReCiPe	TRACI	UBP	CML	EDIP
Acidificação							
Eutrofização							
Aquecimento Global							
Efeito Fotoquímico							
Deterioração da Camada de Ozônio							
Ecotoxicidade							
Agentes Cancerígenos							
Agentes Não-Cancerígenos							
Radiação Ionizante							
Particulado							
Terra							
Energia							
Água							
Poluição do Ar Atmosférico (Smog)							
Metais Pesados							
Substâncias Radioativas							

Fonte: Próprio autor



Para um determinado indicador de impacto ambiental que esteja presente em mais de uma base de dados, não há razão clara para se escolher uma determinada base em detrimento de outra.

Os valores amostrais que caracterizam os indicadores de impacto ambiental foram obtidos para algumas variantes dos processos de furação, fresagem e torneamento (resumidos na Tabela 2) para amostras de 1,0 kg cada de cinco tipos de metais diferentes (aço, aço-cromo, ferro fundido, alumínio e latão).

Tabela 2 – Variantes dos processos de furação, fresagem e torneamento

Furação	Convencional	
	CNC	
Fresagem	CNC	Média
		Acabamento
		Peças grandes
		Peças pequenas
Torneamento	Convencional	Média
		Acabamento
		Desbaste
	CNC	Média
		Acabamento
		Desbaste

Fonte: Próprio autor

Os valores das grandezas físicas que caracterizam os indicadores de impacto ambiental foram normalizados (dando origem a valores adimensionais) de forma que fosse possível obter uma hierarquia quanto à magnitude de impacto ao meio ambiente das diversas variantes de processos de usinagem que estão elencados na Tabela 2. Esse processo de hierarquização dos valores normalizados foi realizado para cada um dos cinco tipos de metais considerados no estudo, dentro de cada uma das sete bases de dados do GaBi.

Os valores normalizados das grandezas que caracterizam os indicadores foram obtidos através da seguinte equação:

$$I_{ijn} = (I_{ij} - I_{jmin}) / (I_{jmax} - I_{jmin}) \quad (1)$$

Após esses valores normalizados serem obtidos, calculou-se o valor normalizado médio para cada uma das diversas variantes de processos de usinagem (o índice de impacto ambiental), considerando todos os valores normalizados de indicadores de impacto ambiental disponíveis, através da equação:

$$IIA_i = (\sum_{j=1}^n I_{ijn}) / n \quad (2)$$

#### 4 RESULTADOS

Tomando como exemplo para a nossa análise a base de dados “EDIP” (base para a qual todas as tabelas de indicadores de impacto ambiental, junto com seus respectivos valores normalizados, além dos índices de impacto ambiental das variantes de processos de usinagem, estão contidas no “Anexo A”), temos as seguintes hierarquias de magnitude de impacto ambiental referentes às variantes de processos de usinagem nos tipos de metal já descritos anteriormente (Tabela 3 à Tabela 7):

Tabela 3 – Hierarquia de magnitude de impacto ambiental na usinagem do aço (EDIP)

Variante de processo de usinagem	Índice de impacto ambiental (IIA <sub>i</sub> )	Posição hierárquica
Fresagem, Acabamento	1	1 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Acabamento	0,405	2 <sup>a</sup>
Fresagem, Peças pequenas	0,292	3 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Média	0,234	4 <sup>a</sup>
Furação CNC	0,084	5 <sup>a</sup>
Fresagem, Média	0,076	6 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Desbaste	0,061	7 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Acabamento	0,050	8 <sup>a</sup>
Fresagem, Peças grandes	0,044	9 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Média	0,025	10 <sup>a</sup>
Furação Convencional	0,006	11 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Desbaste	0	12 <sup>a</sup>

Fonte: Próprio autor

Tabela 4 – Hierarquia de magnitude de impacto ambiental na usinagem do aço-cromo (EDIP)

<b>Variante de processo de usinagem</b>	<b>Índice de impacto ambiental (IIA<sub>i</sub>)</b>	<b>Posição hierárquica</b>
Fresagem, Acabamento	1	1 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Acabamento	0,398	2 <sup>a</sup>
Fresagem, Peças pequenas	0,284	3 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Média	0,225	4 <sup>a</sup>
Furação CNC	0,073	5 <sup>a</sup>
Fresagem, Média	0,066	6 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Desbaste	0,051	7 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Acabamento	0,050	8 <sup>a</sup>
Fresagem, Peças grandes	0,034	9 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Média	0,025	10 <sup>a</sup>
Furação Convencional	0,006	11 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Desbaste	0	12 <sup>a</sup>

Fonte: Próprio autor

Tabela 5 – Hierarquia de magnitude de impacto ambiental na usinagem do ferro fundido (EDIP)

<b>Variante de processo de usinagem</b>	<b>Índice de impacto ambiental (IIA<sub>i</sub>)</b>	<b>Posição hierárquica</b>
Fresagem, Acabamento	1	1 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Acabamento	0,830	2 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Média	0,498	3 <sup>a</sup>
Fresagem, Peças pequenas	0,338	4 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Desbaste	0,166	5 <sup>a</sup>
Furação CNC	0,143	6 <sup>a</sup>
Fresagem, Média	0,137	7 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Acabamento	0,108	8 <sup>a</sup>
Fresagem, Peças grandes	0,107	9 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Média	0,059	10 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Desbaste	0,011	11 <sup>a</sup>
Furação Convencional	0	12 <sup>a</sup>

Fonte: Próprio autor

Tabela 6 – Hierarquia de magnitude de impacto ambiental na usinagem do alumínio (EDIP)

<b>Variante de processo de usinagem</b>	<b>Índice de impacto ambiental (IIA<sub>i</sub>)</b>	<b>Posição hierárquica</b>
Fresagem, Acabamento	1	1 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Acabamento	0,556	2 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Média	0,324	3 <sup>a</sup>
Fresagem, Peças pequenas	0,302	4 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Desbaste	0,091	5 <sup>a</sup>
Fresagem, Média	0,090	6 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Acabamento	0,077	7 <sup>a</sup>
Furação CNC	0,069	8 <sup>a</sup>
Fresagem, Peças grandes	0,058	9 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Média	0,043	10 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Desbaste	0,009	11 <sup>a</sup>
Furação Convencional	0	12 <sup>a</sup>

Fonte: Próprio autor

Tabela 7 – Hierarquia de magnitude de impacto ambiental na usinagem do latão (EDIP)

<b>Variante de processo de usinagem</b>	<b>Índice de impacto ambiental (IIA<sub>i</sub>)</b>	<b>Posição hierárquica</b>
Torneamento CNC, Acabamento	1	1 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Média	0,612	2 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Desbaste	0,224	3 <sup>a</sup>
Furação CNC	0,159	4 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Acabamento	0,139	5 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Média	0,083	6 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Desbaste	0,026	7 <sup>a</sup>
Furação Convencional	0	8 <sup>a</sup>

Fonte: Próprio autor

Os dados apresentados apontam que, segundo a base de dados “EDIP”, para os tipos de metal avaliados, a variante de processo de usinagem que mais impacta o meio ambiente é a operação de acabamento realizada em uma fresadora CNC, mostrando-se a mais impactante para quatro dos cinco tipos de metal analisados. Já sobre a variante de processo de usinagem que menos impacta o meio ambiente, temos a furação convencional, mostrando-se a menos impactante para três dos cinco tipos de metal analisados. Não foram obtidos valores de indicadores de impacto ambiental para operações de fresagem realizadas em latão.

A repetição desse processo de análise desenvolvido na base “EDIP” nas outras seis bases de dados (cujas tabelas de indicadores de impacto ambiental não constam como anexo nesse trabalho, visto que resultariam em um acréscimo de um número inviável de páginas) indica quais são as variantes de processos de usinagem mais e menos impactantes ao meio ambiente, segundo as sete bases de dados do GaBi utilizadas nesse trabalho, para os cinco tipos de metais considerados (Tabela 8):

Tabela 8 – Variantes de processos de usinagem mais e menos impactantes ao meio ambiente por base de dados

<b>Base de dados</b>	<b>Variante de maior impacto ambiental</b>	<b>Variante de menor impacto ambiental</b>
ILCD	Fresagem, Acabamento	Furação Convencional
Impact	Fresagem, Acabamento	Furação Convencional
ReCiPe	Fresagem, Acabamento	Furação Convencional
TRACI	Fresagem, Acabamento	Furação Convencional
UBP	Fresagem, Acabamento	Furação Convencional
CML	Fresagem, Acabamento	Furação Convencional
EDIP	Fresagem, Acabamento	Furação Convencional

Fonte: Próprio autor

Em todas as bases de dados, a operação de acabamento realizada em uma fresadora CNC mostrou-se a variante de processo de usinagem mais impactante quando realizada em aço, aço-cromo, ferro fundido e alumínio; já a operação de acabamento realizado em torno CNC foi a variante de maior impacto apenas para o latão (como já dito anteriormente, não foram obtidos valores de indicadores para as variantes de fresagem realizadas em latão). Dessa forma, temos que a operação de acabamento realizada em uma fresadora CNC é a variante de processo de

usinagem de maior impacto ambiental médio, visto que lidera a hierarquia de impacto para quatro dos cinco metais considerados, em todas as bases. Dentre os motivos pelos quais temos a operação de acabamento realizada em uma fresadora CNC como a mais impactante ao meio ambiente, podemos citar, por exemplo, uma maior potência elétrica requerida para a realização do processo (tanto pela quantidade de motores envolvidos quanto devido à alta rotação aplicada à fresa, além de uma maior potência requerida ao bombeamento de fluido de arrefecimento), um maior tempo necessário à realização de operações de acabamento (implicando num maior consumo de energia elétrica), um maior desgaste da ferramentas de corte (devido às altas rotações aplicadas) e um maior volume de fluido de arrefecimento, o que acarreta, além de uma potência de bombeamento maior, uma maior quantidade de fluido a ser descartado posteriormente, com as suas implicações.

Já a análise das variantes de processos de usinagem menos impactantes ao meio ambiente mostra que, para a base “ILCD”, a operação de furação convencional ocupou a última colocação na hierarquia de impacto para o aço, o ferro fundido, o alumínio e o latão; já a operação de desbaste realizada em um torno convencional mostrou-se a variante menos impactante quando realizada em aço-cromo. Em todas as outras seis bases, a operação de furação convencional mostrou-se a menos impactante quando realizada em ferro fundido, alumínio e latão; já a operação de desbaste realizada em torno convencional mostrou-se a variante menos impactante quando realizada em aço e aço-cromo. Dessa forma, tem-se que a operação de furação convencional é a variante de processo de usinagem de menor impacto ambiental médio, visto que ficou na última colocação hierárquica para quatro dos cinco metais considerados (na base “ILCD”) e para três dos cinco metais considerados (nas demais bases). Dentre os motivos pelos quais temos a operação de furação convencional como a menos impactante ao meio ambiente, podemos citar, por exemplo, o fato de tal operação necessitar de uma potência elétrica relativamente baixa (há apenas um único motor envolvido, que confere rotações relativamente baixas à broca, além de pouca ou nenhuma potência necessária ao bombeamento de fluido de arrefecimento), um tempo relativamente pequeno necessário à realização da operação (implicando num menor consumo de energia elétrica), um menor desgaste da ferramenta de corte (devido às baixas rotações aplicadas) e um menor volume de fluido de arrefecimento, o que acarreta, além de uma potência de bombeamento menor, uma menor quantidade de fluido a ser descartado posteriormente, com as suas implicações (às vezes o processo de furação convencional até mesmo dispensa a utilização de fluido de arrefecimento).

Esse processo de análise desenvolvido nas sete bases de dados torna possível não só chegarmos aos resultados de quais são as variantes de processos de usinagem mais e menos impactantes ao meio ambiente (primeiro e último lugares na hierarquia, respectivamente), mas também explicita a hierarquia das variantes intermediárias quanto à magnitude de impacto ambiental (Tabela 9):

Tabela 9 – Hierarquia geral de magnitude de impacto ambiental

Variante de processo de usinagem		Posição hierárquica
Fresagem, Acabamento		1 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Acabamento		2 <sup>a</sup>
Fresagem, Peças Pequenas	Torneamento CNC, Média	3 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Média	Fresagem, Peças Pequenas	4 <sup>a</sup>
Furação CNC	Torneamento CNC, Desbaste	5 <sup>a</sup>
Fresagem, Média		6 <sup>a</sup>
Torneamento CNC, Desbaste		7 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Acabamento		8 <sup>a</sup>
Fresagem, Peças Grandes		9 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Média		10 <sup>a</sup>
Torneamento Convencional, Desbaste		11 <sup>a</sup>
Furação Convencional		12 <sup>a</sup>

Fonte: Próprio autor

## 5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, podemos concluir que:

- A variante de processo de usinagem mais impactante ao meio ambiente é a de acabamento realizado em uma fresadora CNC;
- A variante de processo de usinagem menos impactante ao meio ambiente é a de furação CNC;
- Os processos CNC possuem uma tendência acentuada a gerar maior impacto ambiental que os processos convencionais;



- A variantes de fresagem CNC tendem a gerar maior impacto que as variantes de torneamento (convencional e CNC), que por sua vez tendem a gerar maior impacto que as variantes de furação (convencional e CNC);
- A fresagem de peças pequenas tende a gerar maior impacto que a fresagem de peças grandes;
- Variantes de torneamento visando acabamento tendem a gerar maior impacto que variantes de torneamento visando desbaste.

Esse trabalho elucidou, por meio da influência que a execução de alguns processos tradicionais de usinagem tem com relação à ocorrência de vários impactos ambientais, a importância de levarmos em consideração o aspecto ambiental em todas as atividades que realizamos, sejam essas atividades profissionais, de estudo ou de lazer. O GaBi, com as suas bases de dados, mostra-se uma ferramenta de grande utilidade na análise de impactos decorrentes de inúmeras atividades realizadas pelas sociedades.

No tocante ao ambientalismo, vemos que o grande desafio da causa é conseguir conciliar a demanda que as sociedades têm por bens e serviços com a preservação dos ecossistemas e suas muitas espécies de seres vivos, tanto espécies já descobertas quanto ainda desconhecidas. Está cada vez mais claro o quão necessário é conseguir equilibrar essas duas vertentes de interesse, sem que uma delas se imponha de forma demasiada em relação à outra, chave do desenvolvimento sustentável.

O progresso da ciência e da tecnologia forneceu à humanidade uma condição de qualidade de vida jamais vista, mas muitas vezes a causa ambiental foi deixada de lado, só se tornando mais significativa nas últimas décadas, devido à escassez de insumos básicos (como água e petróleo), constatações de fenômenos tais como o aquecimento global e o buraco na camada de ozônio, um aumento na demanda por eletricidade e um crescimento acentuado da população mundial, entre outras razões. Chegou-se à conclusão, afinal, de que a grande maioria dos recursos naturais são limitados.

## REFERÊNCIAS

- ADMINISTRADORES.COM. **O ciclo de vida do produto**. Disponível em: <<http://www.administradores.com.br/artigos/marketing/o-ciclo-de-vida-do-produto/81718/>>. Acesso em: 12 jul. 2018.
- AIR QUALITY. **Freshwater Acidification**. Disponível em: <<http://www.air-quality.org.uk/13.php>>. Acesso em: 24 jul. 2018.
- AMERICAN CANCER SOCIETY. **Known and Probable Human Carcinogens**. Disponível em: <<https://www.cancer.org/cancer/cancer-causes/general-info/known-and-probable-human-carcinogens.html>>. Acesso em: 29 ago. 2018.
- ASM INTERNATIONAL. **Metallurgy Lane: The History of Alloy Steels**. Disponível em: <<https://www.asminternational.org/documents/10192/19735983/amp17207p34.pdf/01ca169f-ab50-4d13-9b5e-af25737ec543>>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- CAB INCORPORATED. **Cast Iron Applications**. Disponível em: <<http://www.cabinc.com/pdf/CastIronProp-wp.pdf>>. Acesso em: 26 jun. 2018.
- CHISLOCK, Michael F. et al. **Eutrophication: Causes, Consequences, and Controls in Aquatic Ecosystems**. 2013. Disponível em: <<https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/eutrophication-causes-consequences-and-controls-in-aquatic-102364466>>. Acesso em: 25 jul. 2018.
- CILIZ, Nilgun; MAMMADOV, Aydin; NAYAL, Figen Sisman. **Environmental assessment of energy generation from agricultural and farm waste through anaerobic digestion**. Journal of Environmental Management, Istanbul, n.184, 15 dez. 2016. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com.ez11.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0301479716307216?via%3Dihub>>. Acesso em: 18 out. 2017.
- DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da Usinagem dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Artliber, 2010.
- DUBRONZE INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE AÇOS E METAIS LTDA. **A história do latão**. Disponível em: <<http://dubronzemetais.com.br/blog/informacoes/a-historia-do-latao/>>. Acesso em: 27 jun. 2018.
- ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA. **Water resource**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/science/water-resource>>. Acesso em: 11 set. 2018.
- FITZPATRICK, Michael. **Machining and CNC Technology**. 3. ed. [s.l.]: Mcgraw-hill, 2014.
- GAZEY, Pauline. **Soil Acidity**. Disponível em: <<http://soilquality.org.au/factsheets/soil-acidity>>. Acesso em: 24 jul. 2018.
- GROOVER, Mikell P. **Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems**. 4. ed. [s.l.]: John Wiley & Sons, Inc., 2010.

HAUSCHILD, Michael et al. **Background for spatial differentiation in LCA impact assessment - The EDIP2003 methodology:** Chapter 6 - Photochemical ozone formation. Disponível em: <[https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2005/87-7614-581-6/html/kap06\\_eng.htm](https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2005/87-7614-581-6/html/kap06_eng.htm)>. Acesso em: 6 ago. 2018.

HERRMANN, Ivan T. ; MOLTESEN, Andreas. **Does it matter which Life Cycle Assessment (LCA) tool you choose? – a comparative assessment of SimaPro and GaBi.** Journal of Cleaner Production, n.86, 1 jan. 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com.ez11.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0959652614008269?via%3Dihub>>. Acesso em: 19 out. 2017.

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA (IFSC). **Aula 13 Processo de Usinagem.** Disponível em: <[http://joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Processos\\_de\\_Fabricacao/Aula%2013%20Processo%20de%20Usinagem.pdf](http://joinville.ifsc.edu.br/~valterv/Processos_de_Fabricacao/Aula%2013%20Processo%20de%20Usinagem.pdf)>. Acesso em: 23 fev. 2018.

KUKREJA, Rinkesh. **Causes and Effects of Smog.** Disponível em: <<https://www.conserve-energy-future.com/smogpollution.php>>. Acesso em: 1 ago. 2018.

NASA. **A blanket around the Earth.** Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/causes/>>. Acesso em: 26 jul. 2018.

National Center for Biotechnology Information (NCBI). **A Framework to Guide Selection of Chemical Alternatives.:** Chapter 7 - Assessment of Ecotoxicity. 2014. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK253975/>>. Acesso em: 27 ago. 2018.

NATIONAL GEOGRAPHIC. **Ozone Depletion:** How is Earth's atmosphere losing its most important layer?. Disponível em: <<https://www.nationalgeographic.com/environment/global-warming/ozone-depletion/>>. Acesso em: 27 jul. 2018.

NELSON, Donald H.; SCHNEIDER JUNIOR, George. **Applied Manufacturing Process Planning:** With Emphasis on Metal Forming and Machining. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2001.

NELSON, Stephen A.. **Energy Resources.** Disponível em: <<https://www.tulane.edu/~sanelson/eens1110/energy.htm>>. Acesso em: 10 set. 2018.

OWSIANIK, Mikołaj. et al. **IMPACT 2002+, ReCiPe 2008 and ILCD's recommended practice for characterization modelling in life cycle impact assessment: a case study-based comparison.** The International Journal of Life Cycle Assessment, n.19, maio 2014. Disponível em: <<https://link-springer-com.ez11.periodicos.capes.gov.br/article/10.1007/s11367-014-0708-3#citeas>>. Acesso em: 18 out. 2017.

RECICLOTECA CENTRO DE INFORMAÇÕES SOBRE RECICLAGEM E MEIO AMBIENTE. Ecomarapendi. **Metal: história, composição, tipos, produção e reciclagem.** Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/metal/>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

SILVA, André Luis Silva da. **Aplicações do Alumínio.** Disponível em: <<https://www.infoescola.com/quimica/aplicacoes-do-aluminio/>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

SPECK, Ricky. et al. **Life Cycle Assessment Software: Selection Can Impact Results**. Journal of Industrial Ecology, n.20, fev. 2016. Disponível em: <<http://onlinelibrary-wiley.ez11.periodicos.capes.gov.br/doi/10.1111/jiec.12245/full>>. Acesso em: 18 out. 2017.

TCHOUNWOU, Paul B. et al. **Heavy Metals Toxicity and the Environment**. 2012. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4144270/>>. Acesso em: 2 ago. 2018.

THINKSTEP GABI. **GaBi LCIA Documentation**. Disponível em: <<http://www.gabi-software.com/support/gabi/gabi-lcia-documentation/>>. Acesso em: 17 out. 2017.

TODA MATÉRIA. **Impactos Ambientais**. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/impactos-ambientais/>>. Acesso em: 13 jul. 2018.

UN Environment The Caribbean Environment Programme. **Radioactive Substances**. Disponível em: <<http://www.cep.unep.org/publications-and-resources/marine-and-coastal-issues-links/radioactive-substances>>. Acesso em: 3 ago. 2018.

United States Environmental Protection Agency (EPA). **Particulate Matter (PM) Pollution**. Disponível em: <<https://www.epa.gov/pm-pollution>>. Acesso em: 30 ago. 2018.

UNIVERSITY OF STUTTGART - DEPARTMENT OF LIFE CYCLE ENGINEERING. **Life Cycle Assessment and Life Cycle Engineering**. Disponível em: <[http://ibp-gabi.de/index.php?article\\_id=46&clang=1](http://ibp-gabi.de/index.php?article_id=46&clang=1)>. Acesso em: 18 set. 2018.

WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA. **Cast iron**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Cast\\_iron](https://en.wikipedia.org/wiki/Cast_iron)>. Acesso em: 26 jun. 2018.

WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA. **Chrome steel**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Chrome\\_steel](https://en.wikipedia.org/wiki/Chrome_steel)>. Acesso em: 27 jun. 2018.

WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA. **Ecotoxicity**. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Ecotoxicity>>. Acesso em: 28 ago. 2018.

WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA. **Land use**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Land\\_use](https://en.wikipedia.org/wiki/Land_use)>. Acesso em: 4 set. 2018.

WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA. **Ocean acidification**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean\\_acidification](https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_acidification)>. Acesso em: 24 jul. 2018.

WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA. **Radiation**. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Radiation>>. Acesso em: 3 ago. 2018.

WIKIPEDIA THE FREE ENCYCLOPEDIA. **Soil acidification**. Disponível em: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Soil\\_acidification](https://en.wikipedia.org/wiki/Soil_acidification)>. Acesso em: 24 jul. 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Ionizing radiation, health effects and protective measures**. Disponível em: <<http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ionizing-radiation-health-effects-and-protective-measures>>. Acesso em: 31 jul. 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **What is Ionizing Radiation?** Disponível em:  
<[http://www.who.int/ionizing\\_radiation/about/what\\_is\\_ir/en/](http://www.who.int/ionizing_radiation/about/what_is_ir/en/)>. Acesso em: 31 jul. 2018.

## ANEXO A – INDICADORES DE IMPACTO AMBIENTAL DA BASE DE DADOS “EDIP”

Segue as tabelas de indicadores de impacto ambiental da base de dados “EDIP”, contendo também os seus valores normalizados e os índices de impacto ambiental (IIA<sub>i</sub>), para cada uma das doze variante de processos tradicionais de usinagem (com excessão do latão, que possui indicadores para apenas oito variantes), para amostras de 1,0 kg cada dos cinco tipos de metal considerados nesse trabalho.

### A.1 Indicadores de impacto ambiental na usinagem do aço

Processos	Potencial de acidificação [m <sup>2</sup> UES]	Normalizado
Furação CNC	2,15E-01	0,0816759
Furação Convencional	1,86E-01	0,0060146
Fresagem, Média	2,12E-01	0,0736122
Fresagem, Acabamento	5,68E-01	1
Fresagem, Peças Grandes	2,00E-01	0,0417486
Fresagem, Peças Pequenas	2,95E-01	0,2900037
Torneamento CNC, Média	2,73E-01	0,2318499
Torneamento CNC, Acabamento	3,39E-01	0,4038945
Torneamento CNC, Desbaste	2,07E-01	0,0588288
Torneamento Convencional, Média	1,94E-01	0,025206
Torneamento Convencional, Acabamento	2,03E-01	0,0502823
Torneamento Convencional, Desbaste	1,84E-01	0

Fonte: Próprio autor

Processos	Eutrofização aquática [kg NO <sub>3</sub> -Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	6,20E-02	0,0807855
Furação Convencional	5,10E-02	0,0059946
Fresagem, Média	6,08E-02	0,0727319
Fresagem, Acabamento	1,97E-01	1
Fresagem, Peças Grandes	5,61E-02	0,0408342
Fresagem, Peças Pequenas	9,27E-02	0,2893306
Torneamento CNC, Média	8,41E-02	0,2311161
Torneamento CNC, Acabamento	1,09E-01	0,4033326
Torneamento CNC, Desbaste	5,86E-02	0,0579318
Torneamento Convencional, Média	5,38E-02	0,0252282
Torneamento Convencional, Acabamento	5,75E-02	0,0503316
Torneamento Convencional, Desbaste	5,01E-02	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Eutrofização terrestre [m <sup>2</sup> UES]	Normalizado
Furação CNC	2,12E-01	0,0817314
Furação Convencional	1,96E-01	0,0060069
Fresagem, Média	2,11E-01	0,0736798
Fresagem, Acabamento	4,11E-01	1
Fresagem, Peças Grandes	2,04E-01	0,041808
Fresagem, Peças Pequenas	2,57E-01	0,2900547
Torneamento CNC, Média	2,45E-01	0,2318935
Torneamento CNC, Acabamento	2,82E-01	0,4039319
Torneamento CNC, Desbaste	2,08E-01	0,0589011
Torneamento Convencional, Média	2,00E-01	0,0252043
Torneamento Convencional, Acabamento	2,06E-01	0,0502848
Torneamento Convencional, Desbaste	1,95E-01	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Aquecimento global [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	4,10E+00	0,0830888
Furação Convencional	3,72E+00	0,0060545
Fresagem, Média	4,06E+00	0,0749754
Fresagem, Acabamento	8,60E+00	1
Fresagem, Peças Grandes	3,90E+00	0,0431588
Fresagem, Peças Pequenas	5,12E+00	0,2910495
Torneamento CNC, Média	4,83E+00	0,2329738
Torneamento CNC, Acabamento	5,68E+00	0,4047754
Torneamento CNC, Desbaste	3,99E+00	0,06021
Torneamento Convencional, Média	3,81E+00	0,0251655
Torneamento Convencional, Acabamento	3,94E+00	0,0502028
Torneamento Convencional, Desbaste	3,69E+00	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Formação fotoquímica de ozônio - impacto na saúde humana e materiais [pers*ppm*horas]	Normalizado
Furação CNC	1,26E-06	0,084144
Furação Convencional	1,16E-06	0,0059837
Fresagem, Média	1,25E-06	0,076115
Fresagem, Acabamento	2,45E-06	1
Fresagem, Peças Grandes	1,21E-06	0,0443319
Fresagem, Peças Pequenas	1,53E-06	0,291925
Torneamento CNC, Média	1,45E-06	0,2339181
Torneamento CNC, Acabamento	1,67E-06	0,4055001
Torneamento CNC, Desbaste	1,23E-06	0,0613767
Torneamento Convencional, Média	1,18E-06	0,0251355
Torneamento Convencional, Acabamento	1,21E-06	0,0501499
Torneamento Convencional, Desbaste	1,15E-06	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Formação fotoquímica de ozônio - impacto na vegetação [m <sup>2</sup> UES*ppm*horas]	Normalizado
Furação CNC	1,76E+01	0,0837818
Furação Convencional	1,62E+01	0,0059905
Fresagem, Média	1,75E+01	0,0757462
Fresagem, Acabamento	3,47E+01	1
Fresagem, Peças Grandes	1,69E+01	0,0439499
Fresagem, Peças Pequenas	2,15E+01	0,2916419
Torneamento CNC, Média	2,04E+01	0,2336116
Torneamento CNC, Acabamento	2,36E+01	0,4052627
Torneamento CNC, Desbaste	1,72E+01	0,0610018
Torneamento Convencional, Média	1,65E+01	0,0251457
Torneamento Convencional, Acabamento	1,70E+01	0,0501701
Torneamento Convencional, Desbaste	1,61E+01	0

Fonte: Próprio autor



<b>Processos</b>	Deterioração de ozônio estratosférico [kg R-11-Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	1,61E-07	0,0932227
Furação Convencional	1,46E-07	0,005922
Fresagem, Média	1,59E-07	0,0852714
Fresagem, Acabamento	3,17E-07	1
Fresagem, Peças Grandes	1,54E-07	0,0538053
Fresagem, Peças Pequenas	1,96E-07	0,2989415
Torneamento CNC, Média	1,86E-07	0,2415052
Torneamento CNC, Acabamento	2,16E-07	0,4113933
Torneamento CNC, Desbaste	1,57E-07	0,0706706
Torneamento Convencional, Média	1,49E-07	0,0248865
Torneamento Convencional, Acabamento	1,53E-07	0,0496454
Torneamento Convencional, Desbaste	1,45E-07	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	IIA <sub>i</sub>
Furação CNC	0,084
Furação Convencional	0,006
Fresagem, Média	0,076
Fresagem, Acabamento	1
Fresagem, Peças Grandes	0,044
Fresagem, Peças Pequenas	0,292
Torneamento CNC, Média	0,234
Torneamento CNC, Acabamento	0,405
Torneamento CNC, Desbaste	0,061
Torneamento Convencional, Média	0,025
Torneamento Convencional, Acabamento	0,050
Torneamento Convencional, Desbaste	0

Fonte: Próprio autor

## A.2 Indicadores de impacto ambiental na usinagem do aço-cromo

<b>Processos</b>	Potencial de acidificação [m <sup>2</sup> UES]	Normalizado
Furação CNC	5,25E-01	0,0715192
Furação Convencional	4,89E-01	0,005576
Fresagem, Média	5,21E-01	0,0647285
Fresagem, Acabamento	1,03E+00	1
Fresagem, Peças Grandes	5,04E-01	0,032605
Fresagem, Peças Pequenas	6,38E-01	0,2823621
Torneamento CNC, Média	6,07E-01	0,2236351
Torneamento CNC, Acabamento	7,00E-01	0,3972099
Torneamento CNC, Desbaste	5,13E-01	0,049704
Torneamento Convencional, Média	5,00E-01	0,0253028
Torneamento Convencional, Acabamento	5,13E-01	0,0505237
Torneamento Convencional, Desbaste	4,86E-01	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Eutrofização aquática [kg NO <sub>3</sub> -Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	9,94E-02	0,070871
Furação Convencional	8,59E-02	0,0055695
Fresagem, Média	9,80E-02	0,0640978
Fresagem, Acabamento	2,91E-01	1
Fresagem, Peças Grandes	9,14E-02	0,031949
Fresagem, Peças Pequenas	1,43E-01	0,2818579
Torneamento CNC, Média	1,31E-01	0,2231087
Torneamento CNC, Acabamento	1,67E-01	0,3967977
Torneamento CNC, Desbaste	9,49E-02	0,0490624
Torneamento Convencional, Média	9,00E-02	0,0253236
Torneamento Convencional, Acabamento	9,52E-02	0,0505578
Torneamento Convencional, Desbaste	8,48E-02	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Eutrofização terrestre [m <sup>2</sup> UES]	Normalizado
Furação CNC	4,17E-01	0,071545
Furação Convencional	3,97E-01	0,0055545
Fresagem, Média	4,15E-01	0,0647691
Fresagem, Acabamento	6,98E-01	1
Fresagem, Peças Grandes	4,05E-01	0,0326441
Fresagem, Peças Pequenas	4,81E-01	0,2823909
Torneamento CNC, Média	4,63E-01	0,223664
Torneamento CNC, Acabamento	5,16E-01	0,397243
Torneamento CNC, Desbaste	4,11E-01	0,0497537
Torneamento Convencional, Média	4,03E-01	0,0252976
Torneamento Convencional, Acabamento	4,11E-01	0,0505191
Torneamento Convencional, Desbaste	3,95E-01	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Aquecimento global [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	6,99E+00	0,0725349
Furação Convencional	6,53E+00	0,0056071
Fresagem, Média	6,95E+00	0,0657219
Fresagem, Acabamento	1,34E+01	1
Fresagem, Peças Grandes	6,73E+00	0,0336192
Fresagem, Peças Pequenas	8,44E+00	0,2831153
Torneamento CNC, Média	8,04E+00	0,2244669
Torneamento CNC, Acabamento	9,24E+00	0,3978594
Torneamento CNC, Desbaste	6,84E+00	0,050718
Torneamento Convencional, Média	6,67E+00	0,02528
Torneamento Convencional, Acabamento	6,84E+00	0,050469
Torneamento Convencional, Desbaste	6,49E+00	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Formação fotoquímica de ozônio - impacto na saúde humana e materiais [pers*ppm*horas]	Normalizado
Furação CNC	2,41E-06	0,0732993
Furação Convencional	2,29E-06	0,0055498
Fresagem, Média	2,40E-06	0,0665422
Fresagem, Acabamento	4,10E-06	1
Fresagem, Peças Grandes	2,34E-06	0,0344619
Fresagem, Peças Pequenas	2,80E-06	0,2837367
Torneamento CNC, Média	2,69E-06	0,2251343
Torneamento CNC, Acabamento	3,01E-06	0,3983784
Torneamento CNC, Desbaste	2,38E-06	0,0515484
Torneamento Convencional, Média	2,33E-06	0,0252511
Torneamento Convencional, Acabamento	2,37E-06	0,0504245
Torneamento Convencional, Desbaste	2,28E-06	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Formação fotoquímica de ozônio - impacto na vegetação [m <sup>2</sup> UES*ppm*horas]	Normalizado
Furação CNC	3,43E+01	0,0730367
Furação Convencional	3,26E+01	0,0055532
Fresagem, Média	3,41E+01	0,0662743
Fresagem, Acabamento	5,85E+01	1
Fresagem, Peças Grandes	3,33E+01	0,0341867
Fresagem, Peças Pequenas	3,98E+01	0,2835329
Torneamento CNC, Média	3,83E+01	0,224912
Torneamento CNC, Acabamento	4,28E+01	0,3982067
Torneamento CNC, Desbaste	3,38E+01	0,0512769
Torneamento Convencional, Média	3,31E+01	0,0252584
Torneamento Convencional, Acabamento	3,37E+01	0,0504389
Torneamento Convencional, Desbaste	3,24E+01	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Deterioração de ozônio estratosférico [kg R-11-Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	2,75E-07	0,079913
Furação Convencional	2,57E-07	0,0055263
Fresagem, Média	2,73E-07	0,0731839
Fresagem, Acabamento	4,96E-07	1
Fresagem, Peças Grandes	2,65E-07	0,0413492
Fresagem, Peças Pequenas	3,25E-07	0,2888427
Torneamento CNC, Média	3,11E-07	0,230656
Torneamento CNC, Acabamento	3,52E-07	0,4026509
Torneamento CNC, Desbaste	2,69E-07	0,0582768
Torneamento Convencional, Média	2,61E-07	0,0251004
Torneamento Convencional, Acabamento	2,67E-07	0,05009
Torneamento Convencional, Desbaste	2,55E-07	0

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	IIA <sub>i</sub>
Furação CNC	0,073
Furação Convencional	0,006
Fresagem, Média	0,066
Fresagem, Acabamento	1
Fresagem, Peças Grandes	0,034
Fresagem, Peças Pequenas	0,284
Torneamento CNC, Média	0,225
Torneamento CNC, Acabamento	0,398
Torneamento CNC, Desbaste	0,051
Torneamento Convencional, Média	0,025
Torneamento Convencional, Acabamento	0,050
Torneamento Convencional, Desbaste	0

Fonte: Próprio autor

### A.3 Indicadores de impacto ambiental na usinagem do ferro fundido

Processos	Potencial de acidificação [m <sup>2</sup> UES]	Normalizado
Furação CNC	1,80E-01	0,1363682
Furação Convencional	1,63E-01	0
Fresagem, Média	1,79E-01	0,1299762
Fresagem, Acabamento	2,91E-01	1
Fresagem, Peças Grandes	1,76E-01	0,1000983
Fresagem, Peças Pequenas	2,05E-01	0,3329236
Torneamento CNC, Média	2,26E-01	0,4944284
Torneamento CNC, Acabamento	2,69E-01	0,8290542
Torneamento CNC, Desbaste	1,83E-01	0,1590715
Torneamento Convencional, Média	1,70E-01	0,0595724
Torneamento Convencional, Acabamento	1,77E-01	0,108676
Torneamento Convencional, Desbaste	1,64E-01	0,0109072

Fonte: Próprio autor

Processos	Eutrofização aquática [kg NO <sub>3</sub> -Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	4,79E-02	0,1338989
Furação Convencional	4,14E-02	0
Fresagem, Média	4,76E-02	0,1275591
Fresagem, Acabamento	9,03E-02	1
Fresagem, Peças Grandes	4,62E-02	0,097601
Fresagem, Peças Pequenas	5,76E-02	0,3310668
Torneamento CNC, Média	6,55E-02	0,4930105
Torneamento CNC, Acabamento	8,19E-02	0,8285745
Torneamento CNC, Desbaste	4,91E-02	0,1567324
Torneamento Convencional, Média	4,43E-02	0,0598312
Torneamento Convencional, Acabamento	4,67E-02	0,1090605
Torneamento Convencional, Desbaste	4,19E-02	0,011028

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Eutrofização terrestre [m <sup>2</sup> UES]	Normalizado
Furação CNC	1,92E-01	0,1365459
Furação Convencional	1,82E-01	0
Fresagem, Média	1,92E-01	0,1301992
Fresagem, Acabamento	2,54E-01	1
Fresagem, Peças Grandes	1,89E-01	0,1003053
Fresagem, Peças Pequenas	2,06E-01	0,3330743
Torneamento CNC, Média	2,18E-01	0,494575
Torneamento CNC, Acabamento	2,42E-01	0,8291063
Torneamento CNC, Desbaste	1,94E-01	0,1592822
Torneamento Convencional, Média	1,86E-01	0,0596085
Torneamento Convencional, Acabamento	1,90E-01	0,1087051
Torneamento Convencional, Desbaste	1,83E-01	1,10E-02

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Aquecimento global [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	3,64E+00	0,140201
Furação Convencional	3,41E+00	0
Fresagem, Média	3,62E+00	0,1337334
Fresagem, Acabamento	5,05E+00	1
Fresagem, Peças Grandes	3,58E+00	0,1039701
Fresagem, Peças Pequenas	3,96E+00	0,3357669
Torneamento CNC, Média	4,22E+00	0,496593
Torneamento CNC, Acabamento	4,77E+00	0,8297315
Torneamento CNC, Desbaste	3,67E+00	0,1626573
Torneamento Convencional, Média	3,50E+00	0,0592067
Torneamento Convencional, Acabamento	3,58E+00	0,1080892
Torneamento Convencional, Desbaste	3,42E+00	0,010746

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Formação fotoquímica de ozônio - impacto na saúde humana e materiais [pers*ppm*horas]	Normalizado
Furação CNC	1,13E-06	0,1433412
Furação Convencional	1,07E-06	0
Fresagem, Média	1,12E-06	0,1370383
Fresagem, Acabamento	1,50E-06	1
Fresagem, Peças Grandes	1,11E-06	0,1073951
Fresagem, Peças Pequenas	1,21E-06	0,3383283
Torneamento CNC, Média	1,28E-06	0,4985497
Torneamento CNC, Acabamento	1,43E-06	0,8304457
Torneamento CNC, Desbaste	1,14E-06	0,1658983
Torneamento Convencional, Média	1,09E-06	0,0591487
Torneamento Convencional, Acabamento	1,11E-06	0,1078537
Torneamento Convencional, Desbaste	1,07E-06	0,0108902

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Formação fotoquímica de ozônio - impacto na vegetação [m <sup>2</sup> UES*ppm*horas]	Normalizado
Furação CNC	1,58E+01	0,1423193
Furação Convencional	1,49E+01	0
Fresagem, Média	1,57E+01	0,1359985
Fresagem, Acabamento	2,11E+01	1
Fresagem, Peças Grandes	1,55E+01	0,106318
Fresagem, Peças Pequenas	1,70E+01	0,3375306
Torneamento CNC, Média	1,80E+01	0,4979458
Torneamento CNC, Acabamento	2,01E+01	0,8302415
Torneamento CNC, Desbaste	1,59E+01	0,1648925
Torneamento Convencional, Média	1,52E+01	0,0592086
Torneamento Convencional, Acabamento	1,55E+01	0,1079728
Torneamento Convencional, Desbaste	1,49E+01	0,0108916

Fonte: Próprio autor



<b>Processos</b>	Deterioração de ozônio estratosférico [kg R-11-Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	1,40E-07	0,1681941
Furação Convencional	1,30E-07	0
Fresagem, Média	1,40E-07	0,1620922
Fresagem, Acabamento	1,89E-07	1
Fresagem, Peças Grandes	1,38E-07	0,1333114
Fresagem, Peças Pequenas	1,51E-07	0,3575626
Torneamento CNC, Média	1,60E-07	0,5130972
Torneamento CNC, Acabamento	1,79E-07	0,8353526
Torneamento CNC, Desbaste	1,41E-07	0,1900895
Torneamento Convencional, Média	1,34E-07	0,0574476
Torneamento Convencional, Acabamento	1,36E-07	0,1047355
Torneamento Convencional, Desbaste	1,31E-07	0,0105763

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	IIA <sub>i</sub>
Furação CNC	0,143
Furação Convencional	0
Fresagem, Média	0,137
Fresagem, Acabamento	1
Fresagem, Peças Grandes	0,107
Fresagem, Peças Pequenas	0,338
Torneamento CNC, Média	0,498
Torneamento CNC, Acabamento	0,830
Torneamento CNC, Desbaste	0,166
Torneamento Convencional, Média	0,059
Torneamento Convencional, Acabamento	0,108
Torneamento Convencional, Desbaste	0,011

Fonte: Próprio autor

#### A.4 Indicadores de impacto ambiental na usinagem do alumínio

<b>Processos</b>	Potencial de acidificação [m <sup>2</sup> UES]	Normalizado
Furação CNC	7,56E-01	0,0662657
Furação Convencional	7,37E-01	0
Fresagem, Média	7,62E-01	0,0867532
Fresagem, Acabamento	1,03E+00	1
Fresagem, Peças Grandes	7,53E-01	0,0552258
Fresagem, Peças Pequenas	8,24E-01	0,2992189
Torneamento CNC, Média	8,30E-01	0,3215101
Torneamento CNC, Acabamento	8,98E-01	0,5540334
Torneamento CNC, Desbaste	7,62E-01	0,0877046
Torneamento Convencional, Média	7,49E-01	0,0433529
Torneamento Convencional, Acabamento	7,59E-01	0,0774385
Torneamento Convencional, Desbaste	7,39E-01	0,0093793

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Eutrofização aquática [kg NO <sub>3</sub> -Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	1,39E-01	0,0651467
Furação Convencional	1,32E-01	0
Fresagem, Média	1,42E-01	0,0856342
Fresagem, Acabamento	2,44E-01	1
Fresagem, Peças Grandes	1,38E-01	0,0540649
Fresagem, Peças Pequenas	1,65E-01	0,2983228
Torneamento CNC, Média	1,68E-01	0,3206965
Torneamento CNC, Acabamento	1,94E-01	0,553518
Torneamento CNC, Desbaste	1,42E-01	0,0866111
Torneamento Convencional, Média	1,37E-01	0,0434443
Torneamento Convencional, Acabamento	1,41E-01	0,0775536
Torneamento Convencional, Desbaste	1,33E-01	0,0094323

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Eutrofização terrestre [m <sup>2</sup> UES]	Normalizado
Furação CNC	4,77E-01	0,066362
Furação Convencional	4,66E-01	0
Fresagem, Média	4,80E-01	0,0868501
Fresagem, Acabamento	6,30E-01	1
Fresagem, Peças Grandes	4,75E-01	0,0553134
Fresagem, Peças Pequenas	5,15E-01	0,2993143
Torneamento CNC, Média	5,19E-01	0,3216152
Torneamento CNC, Acabamento	5,57E-01	0,5540258
Torneamento CNC, Desbaste	4,81E-01	0,0878021
Torneamento Convencional, Média	4,73E-01	0,0433599
Torneamento Convencional, Acabamento	4,79E-01	0,0774366
Torneamento Convencional, Desbaste	4,68E-01	0,0094299

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Aquecimento global [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	1,04E+01	0,0680934
Furação Convencional	1,02E+01	0
Fresagem, Média	1,05E+01	0,0884468
Fresagem, Acabamento	1,39E+01	1
Fresagem, Peças Grandes	1,04E+01	0,0570082
Fresagem, Peças Pequenas	1,13E+01	0,3005142
Torneamento CNC, Média	1,14E+01	0,3227871
Torneamento CNC, Acabamento	1,22E+01	0,5548653
Torneamento CNC, Desbaste	1,05E+01	0,0894087
Torneamento Convencional, Média	1,03E+01	0,0432081
Torneamento Convencional, Acabamento	1,04E+01	0,0772189
Torneamento Convencional, Desbaste	1,02E+01	0,0093434

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Formação fotoquímica de ozônio - impacto na saúde humana e materiais [pers*ppm*horas]	Normalizado
Furação CNC	2,93E-06	0,0695876
Furação Convencional	2,86E-06	0
Fresagem, Média	2,95E-06	0,0900078
Fresagem, Acabamento	3,85E-06	1
Fresagem, Peças Grandes	2,92E-06	0,0585839
Fresagem, Peças Pequenas	3,16E-06	0,3017176
Torneamento CNC, Média	3,18E-06	0,3239639
Torneamento CNC, Acabamento	3,41E-06	0,5555947
Torneamento CNC, Desbaste	2,95E-06	0,0909601
Torneamento Convencional, Média	2,91E-06	0,0431909
Torneamento Convencional, Acabamento	2,94E-06	0,0771675
Torneamento Convencional, Desbaste	2,87E-06	0,0094058

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Formação fotoquímica de ozônio - impacto na vegetação [m <sup>2</sup> UES*ppm*horas]	Normalizado
Furação CNC	4,15E+01	0,0690997
Furação Convencional	4,05E+01	0
Fresagem, Média	4,18E+01	0,0895259
Fresagem, Acabamento	5,47E+01	1
Fresagem, Peças Grandes	4,13E+01	0,0580848
Fresagem, Peças Pequenas	4,48E+01	0,3013503
Torneamento CNC, Média	4,51E+01	0,323606
Torneamento CNC, Acabamento	4,84E+01	0,5553554
Torneamento CNC, Desbaste	4,18E+01	0,0904778
Torneamento Convencional, Média	4,11E+01	0,0432116
Torneamento Convencional, Acabamento	4,16E+01	0,077204
Torneamento Convencional, Desbaste	4,06E+01	0,0094043

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Deterioração de ozônio estratosférico [kg R-11-Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	5,66E-07	0,0816313
Furação Convencional	5,56E-07	0
Fresagem, Média	5,69E-07	0,1018208
Fresagem, Acabamento	6,87E-07	1
Fresagem, Peças Grandes	5,65E-07	0,0707458
Fresagem, Peças Pequenas	5,96E-07	0,3107353
Torneamento CNC, Média	5,99E-07	0,332688
Torneamento CNC, Acabamento	6,29E-07	0,5613543
Torneamento CNC, Desbaste	5,69E-07	0,1027312
Torneamento Convencional, Média	5,61E-07	0,0425947
Torneamento Convencional, Acabamento	5,66E-07	0,0761905
Torneamento Convencional, Desbaste	5,57E-07	0,0092957

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	IIA <sub>i</sub>
Furação CNC	0,069
Furação Convencional	0
Fresagem, Média	0,090
Fresagem, Acabamento	1
Fresagem, Peças Grandes	0,058
Fresagem, Peças Pequenas	0,302
Torneamento CNC, Média	0,324
Torneamento CNC, Acabamento	0,556
Torneamento CNC, Desbaste	0,091
Torneamento Convencional, Média	0,043
Torneamento Convencional, Acabamento	0,077
Torneamento Convencional, Desbaste	0,009

Fonte: Próprio autor

### A.5 Indicadores de impacto ambiental na usinagem do latão

<b>Processos</b>	Potencial de acidificação [m <sup>2</sup> UES]	Normalizado
Furação CNC	1,79E+00	0,1501332
Furação Convencional	1,77E+00	0
Torneamento CNC, Média	1,83E+00	0,6075659
Torneamento CNC, Acabamento	1,87E+00	1
Torneamento CNC, Desbaste	1,79E+00	0,2163357
Torneamento Convencional, Média	1,78E+00	0,0832955
Torneamento Convencional, Acabamento	1,78E+00	0,1403256
Torneamento Convencional, Desbaste	1,77E+00	0,0262057

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Eutrofização aquática [kg NO <sub>3</sub> -Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	1,12728572	0,14664
Furação Convencional	1,121980124	0
Torneamento CNC, Média	1,143909166	0,6060914
Torneamento CNC, Acabamento	1,158161205	1
Torneamento CNC, Desbaste	1,129695874	0,2132537
Torneamento Convencional, Média	1,125005225	0,08361
Torneamento Convencional, Acabamento	1,127079591	0,1409429
Torneamento Convencional, Desbaste	1,122930652	0,0262714

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Eutrofização terrestre [m <sup>2</sup> UES]	Normalizado
Furação CNC	8,75E-01	0,1504151
Furação Convencional	8,67E-01	0
Torneamento CNC, Média	8,99E-01	0,6074698
Torneamento CNC, Acabamento	9,20E-01	1
Torneamento CNC, Desbaste	8,78E-01	0,2165232
Torneamento Convencional, Média	8,71E-01	0,0833434
Torneamento Convencional, Acabamento	8,74E-01	0,1403959
Torneamento Convencional, Desbaste	8,68E-01	0,0260981

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Aquecimento global [kg CO <sub>2</sub> -Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	4,522146999	0,1551666
Furação Convencional	4,333480511	0
Torneamento CNC, Média	5,075126247	0,6099579
Torneamento CNC, Acabamento	5,549377148	1
Torneamento CNC, Desbaste	4,602046731	0,2208792
Torneamento Convencional, Média	4,434088797	0,0827441
Torneamento Convencional, Acabamento	4,502963654	0,1393894
Torneamento Convencional, Desbaste	4,365008008	0,0259294

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Formação fotoquímica de ozônio - impacto na saúde humana e materiais [pers*ppm*horas]	Normalizado
Furação CNC	3,27E-06	0,1593815
Furação Convencional	3,22E-06	0
Torneamento CNC, Média	3,41E-06	0,611741
Torneamento CNC, Acabamento	3,54E-06	1
Torneamento CNC, Desbaste	3,29E-06	0,2248109
Torneamento Convencional, Média	3,24E-06	0,0825148
Torneamento Convencional, Acabamento	3,26E-06	0,1389301
Torneamento Convencional, Desbaste	3,22E-06	0,0259244

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Formação fotoquímica de ozônio - impacto na vegetação [m <sup>2</sup> UES*ppm*horas]	Normalizado
Furação CNC	4,75E+01	0,158037
Furação Convencional	4,68E+01	0
Torneamento CNC, Média	4,96E+01	0,6111019
Torneamento CNC, Acabamento	5,14E+01	1
Torneamento CNC, Desbaste	4,78E+01	0,2235478
Torneamento Convencional, Média	4,72E+01	0,0826379
Torneamento Convencional, Acabamento	4,74E+01	0,1391451
Torneamento Convencional, Desbaste	4,69E+01	0,0259531

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	Deterioração de ozônio estratosférico [kg R-11-Equiv.]	Normalizado
Furação CNC	2,29E-07	0,1919086
Furação Convencional	2,21E-07	0
Torneamento CNC, Média	2,48E-07	0,6271937
Torneamento CNC, Acabamento	2,65E-07	1
Torneamento CNC, Desbaste	2,32E-07	0,254975
Torneamento Convencional, Média	2,24E-07	0,0794382
Torneamento Convencional, Acabamento	2,26E-07	0,1335995
Torneamento Convencional, Desbaste	2,22E-07	0,0252134

Fonte: Próprio autor

<b>Processos</b>	IIA <sub>i</sub>
Furação CNC	0,159
Furação Convencional	0
Torneamento CNC, Média	0,612
Torneamento CNC, Acabamento	1
Torneamento CNC, Desbaste	0,224
Torneamento Convencional, Média	0,083
Torneamento Convencional, Acabamento	0,139
Torneamento Convencional, Desbaste	0,026

Fonte: Próprio autor