

JÚLIA FREIXEDELO SILVEIRO

**AUDITORIA AMBIENTAL E *ECODESIGN* DE SEIS PRODUTOS PARA HIGIENE
PESSOAL**

São Paulo

2021

JÚLIA FREIXEDELO SILVEIRO

**AUDITORIA AMBIENTAL E *ECODESIGN* DE SEIS PRODUTOS PARA HIGIENE
PESSOAL**

Trabalho de Formatura apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São
Paulo Departamento de Engenharia
Metalúrgica e de Materiais

Orientador: Prof. Dr. Cesar Roberto de
Farias Azevedo

São Paulo

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Silveiro, Júlia Freixedelo

Auditoria ambiental e ecodesign de seis produtos para higiene pessoal / J. F. Silveiro -- São Paulo, 2021.
91 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

1.Ecodesign 2.Eco auditoria 3.Produtos do cotidiano 4.Pegada de carbono
5.Reciclagem 6.Reuso 7.Redução de plástico I. Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais II.t.

Aos meus pais que sempre me proporcionaram o melhor que puderam, à minha irmã que me incentiva a ser minha melhor versão todos os dias e às minhas avós que me ensinam tanto sobre respeito, amor e força.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família que sempre me apoiou e incentivou a lutar pelos meus sonhos e buscar sempre entregar o meu melhor em todas as situações. Em especial, aos meus pais Bernardete e Fernando e a minha irmã Luíse, por todo o suporte e por me fazerem ser quem eu sou hoje. Ao Rafael, que me mostra e ensina sobre amor, cumplicidade e construção todos os dias. Às minhas tias Elizabete e Mylene, que são grandes referências de mulheres fortes e incríveis. Às minhas avós Amélia e Maria, que representam o início e a possibilidade da minha família. Ao meu tio Robson, que foi o primeiro a me apresentar o que era Engenharia. E também a Lolla, que me mostra a simplicidade em ser feliz.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Cesar Roberto de Farias Azevedo, pela paciência, pelos ensinamentos, por me incentivar a sempre buscar melhorias, e, principalmente, pelo seu lado tão humano e ampla visão de mundo, sem limitações, que se diferenciam dentro da universidade. Agradeço também a todos os professores responsáveis e essenciais a minha formação, desde a alfabetização, preparação para o vestibular e na graduação.

Agradeço à Instituição Escola Politécnica da USP que me proporcionou grande crescimento profissional e pessoal durante os seis últimos anos, tanto nos momentos mais difíceis como nos mais leves. Agradeço ao Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais por ter me apresentado um horizonte de aprendizados. Agradeço ao Instituto de Química da USP e a Prof. Dra. Ana Maria da Costa Ferreira e a todos do seu laboratório, por me receberem durante minha iniciação científica.

Por fim, agradeço por todas as oportunidades e atividades acadêmicas que a Instituição me possibilitou, inclusive o grupo de extensão Poli Social. E, principalmente, agradeço pelas pessoas incríveis que conheci, as quais tenho o prazer de manter em minha vida. Em especial, agradeço a Beatriz Motta, Daniela Pegaz, Felipe Suguimoto, Guilherme Urbano, Isabela Bertolucci, Juliana Golçalves, Thaís Miky Kuroda e Viviane Mielli por deixarem a jornada mais divertida.

RESUMO

Impactos ambientais vem tomando cada vez mais força e se fazendo mais presentes no dia-a-dia da população, mostrando que é essencial pensar não só no início, mas sim na vida inteira do produto. O uso de ferramentas para auxiliar em análises de impacto ambiental de processos e produtos se mostram muito importantes na tomada de decisões, auxiliando a implementação do *ecodesign* e na escolha de produtos que se mostrem mais sustentáveis. Utilizou-se a ferramenta de *Eco Audit* do software educacional CES EduPack 2018 com o objetivo de avaliar a pegada de carbono de seis produtos do cotidiano de higiene pessoal: Escova de dentes, fio dental, xampu, hastes flexíveis, absorvente higiênico e curativos adesivos. Para cada um dos produtos foi adotada uma população hipotética de 1 milhão de habitantes com um padrão suposto de consumo durante o período de 1 ano. Além disso, foi feito um acompanhamento de alunos da disciplina de Seleção de Materiais do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da USP (PMT 3414) ao longo do semestre. Objetiva-se propor e discutir o projeto ambientalmente responsável dos produtos listados, além de discutir qual o papel da educação na conscientização ambiental e entender e discutir como a legislação, o comportamento do consumidor e definições técnicas do produto interagem.

Palavras-chaves: Ecodesign, eco auditoria, produtos do cotidiano, pegada de carbono, reciclagem, reuso, redução de plástico.

ABSTRACT

Environmental impacts have been gaining more and more strength and becoming more present in the daily lives of the population, showing that it is essential to think not only about the beginning of life, but in the entire product life cycle. The use of tools to assist in the analysis of the environmental impact of processes and products are very important in decision making, helping the implementation of ecodesign and choosing products that prove to be more sustainable. The Eco Audit tool of the CES EduPack 2018 educational software was used to assess the carbon footprint of six everyday personal care products: toothbrush, dental floss, shampoo, cotton swab, sanitary napkin and adhesive bandage. For each of the products, a hypothetical population of 1 million habitants was adopted with an assumed pattern of consumption during the period of 1 year. In addition, students from the Material Selection discipline of the Department of Metallurgical and Materials Engineering at Escola Politécnica - USP (PMT 3414) were monitored throughout the semester. The objective is to propose and discuss the environmentally responsible design of the listed products, in addition to discussing the role of education in environmental awareness and to understand and discuss how legislation, consumer behavior and technical definitions of the product interact.

Keywords: Ecodesign, eco auditing, everyday products, carbon footprint, recycling, reuse, plastic reduction.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Ciclo de vida do produto (abordagem de marketing). Da esquerda para a direita: Etapa 1: Desenvolvimento de mercado, Etapa 2: Crescimento, Etapa 3: Maturidade e Etapa 4: Declínio. | 3 |
| Figura 2: Ciclo de vida do produto (abordagem de engenharia). A figura mostra as três principais fases do ciclo de vida: começo da vida, envolvendo a etapa de design e manufatura; meio da vida, compra e consumo; e fim da vida, disposição final do produto. | 4 |
| Figura 3: Comparação entre a abordagem do pensamento tradicional de design (linha tracejada de cima) e o pensamento considerando o ciclo de vida (linha tracejada de baixo). Da esquerda para a direita tem-se as etapas: Extração de matéria-prima, manufatura dos componentes, montagem do produto, distribuição e venda, uso e fim de vida com disposição final..... | 7 |
| Figura 4: Pirâmide de hierarquia das opções de gestão de resíduos..... | 9 |
| Figura 5: As dez regras de ouro do <i>ecodesign</i> são organizadas de acordo com o ciclo de vida do produto..... | 12 |
| Figura 6: Os três principais elementos do modelo de maturidade de <i>ecodesign</i> . De cima para baixo: práticas do <i>ecodesign</i> ; níveis de maturidade; método de aplicação. | 15 |
| Figura 7: Exemplo de possível resultado de uma ACV para latas de alumínio. | 18 |
| Figura 8: Distribuição do gasto energético associado a cada fase do ciclo de vida: Material, manufatura, transporte, uso, disposição final e potencial de fim de vida (da esquerda para a direita). | 19 |
| Figura 9: Infográfico de como escovas de dentes manuais afeta o meio ambiente. O nylon é apontado como responsável por criar óxido de nitrogênio, 310 vezes mais potente que o gás carbônico. O polipropileno que acaba nos oceanos pode ser confundido com comida pelos animais ali presentes. | 23 |

| | |
|--|----|
| Figura 10: Esquema da polimerização do nylon a ser utilizado no fio dental. | 24 |
| Figura 11: Esquema da produção do fio dental: construção da bobinha e estampagem das caixinhas..... | 25 |
| Figura 12: Esquema das camadas presentes no absorvente higiênico. (A) Cobertura de superfície. (B) Camada de aquisição e distribuição. (C) Centro absorvente. (D) Camada traseira. (E) Fita de papel. (F) Adesivo. (G) Abas. | 30 |
| Figura 13: Esquema simplificado dos dados de saída do EduPack com as fases material, fabricação, uso e descarte..... | 34 |
| Figura 14: Imagem do software mostrando as entradas da ferramenta de auditoria ambiental do software. | 35 |
| Figura 15: Tela do software mostrando as possíveis modalidades de transporte. | 36 |
| Figura 16: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para a escova de dente. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que quando se adotam uso de materiais reciclados, ela se aproxima da fase de manufatura. No caso da escova de dentes (III), há potencial de fim de vida devido ao reuso do cabo como forma de disposição adotada. | 44 |
| Figura 17: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para o fio dental. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que há redução nos cenários do fio dental (II) e (III) quando adota-se materiais reciclados. No caso do fio dental (III), há potencial de fim de vida devido ao reuso da caixinha como forma de disposição adotada. | 47 |
| Figura 18: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para o xampu. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que há redução bastante considerável nos cenários do xampu (II) e (III) quando adota-se materiais reciclados. No caso do xampu (III), há potencial de fim de vida devido ao reuso da embalagem como forma de disposição adotada..... | 50 |
| Figura 19: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para a haste flexível. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que há redução nos | |

cenários da haste flexível (II) e (III) quando adota-se materiais reciclados. Neste caso, não há potencial de fim de vida devido ao as opções de disposição adotada para os componentes deste produto.53

Figura 20: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para o absorvente higiênico. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que há redução nos cenários do absorvente higiênico (II) e (III) quando adota-se materiais reciclados. Neste caso, não há potencial de fim de vida devido ao as opções de disposição adotada para os componentes deste produto.56

Figura 21: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para o curativo adesivo. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que há redução nos cenários do curativo adesivo (II) e (III) quando adota-se materiais reciclados. Neste caso, não há potencial de fim de vida devido ao as opções de disposição adotada para os componentes deste produto.59

Figura 22: Gráfico comparativo da pegada de carbono referente ao consumo anual de uma população hipotética de 1 milhão de habitantes para cada um dos produtos e seus respectivos cenários. Observa-se que o absorvente e o xampu são os produtos com pior desempenho em termos de pegada de CO₂. E o curativo adesivo apresenta o melhor desempenho entre os produtos analisados.72

Figura 23: Escova de dente com cabo reutilizável da Colgate.76

Figura 24: Forças de mudança segundo Ashby (2011) para se chegar na eficiência de materiais levando em consideração o *ecodesign*.78

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Métodos utilizados para a aplicação do ecodesign. | 11 |
| Tabela 2: Estimativa de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes..... | 37 |
| Tabela 3: Massa obtida para cada um dos produtos e cálculo em kg do consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes. | 38 |
| Tabela 4: Dados de entrada de massa no software por componente. A coluna “entrada” diz respeito ao consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes conforme hábitos explicitados na tabela 2. | 39 |
| Tabela 5: Comparação entre os três cenários de escova de dentes para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO ₂ . Percebe-se que a escova de dentes (III) é melhor em termos de emissão de carbono além de apresentar um potencial de fim de vida devido a escolha de reuso para o cabo. A escova de dentes (II) é melhor que a escova de dentes (I) devido ao uso de materiais 100% reciclados. | 45 |
| Tabela 6: Detalhamento da fase material da escova de dentes (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o componente crítico é o cabo, responsável por 61% das emissões..... | 46 |
| Tabela 7: Comparação entre os três cenários de fio dental para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO ₂ . Percebe-se que o fio dental (III) é melhor em termos de emissão de carbono além de apresentar um potencial de fim de vida devido a escolha de reuso para a caixinha. O fio dental (II) é melhor que a fio dental (I) devido ao uso de materiais 100% reciclados..... | 48 |
| Tabela 8: Detalhamento da fase material do fio dental (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material | |

reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o componente crítico é o próprio fio de nylon sendo responsável por 63% das emissões.49

Tabela 9: Comparação entre os três cenários de xampu para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO₂. Percebe-se que o xampu (III) é o melhor em termos de emissão de carbono além de apresentar um potencial de fim de vida devido a escolha de reuso para a embalagem. O xampu (II) é melhor que a fio dental (I) devido ao uso de materiais 100% reciclados.51

Tabela 10: Detalhamento da fase material do xampu (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o material crítico é a garrafa sendo responsável por 77% das emissões.52

Tabela 11: Comparação entre os três cenários de haste flexível para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO₂. Percebe-se que a haste flexível (II) é melhor em termos de emissão de carbono. A haste flexível (III) é melhor que a haste flexível (I) por considerar materiais 100% reciclados, mas não a melhor opção por contar com reciclagem de alguns componentes no fim de vida, o que pode gerar gás carbônico na fase de disposição.54

Tabela 12: Detalhamento da fase material da haste flexível (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o material crítico é a haste sendo responsável por 74,5% das emissões.55

Tabela 13: Comparação entre os três cenários de absorvente higiênico para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO₂. Percebe-se que o absorvente higiênico (II) é melhor em termos de emissão de carbono. O absorvente higiênico (III)

é melhor que a absorvente higiênico (I) por considerar materiais 100% reciclados, mas não a melhor opção por contar com reciclagem de alguns componentes no fim de vida, o que pode gerar gás carbônico na fase de disposição.57

Tabela 14: Detalhamento da fase material do absorvente higiênico (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o componente crítico é o próprio absorvente, cuja composição, neste caso, se adotou como sendo algodão.58

Tabela 15: Comparação entre os três cenários de curativo adesivo para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO₂. Percebe-se que o curativo adesivo (II) é melhor em termos de emissão de carbono. O curativo adesivo (III) é melhor que a curativo adesivo (I) por considerar materiais 100% reciclados, mas não a melhor opção por contar com reciclagem de alguns componentes no fim de vida, o que pode gerar gás carbônico na fase de disposição.60

Tabela 16: Detalhamento da fase material do curativo adesivo (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o componente crítico pode ser as duas embalagens cuja composição é papel e papel cartão sendo cada uma delas responsável por cerca de 35% das emissões.61

Tabela 17: Análise crítica do trabalho sobre escova de dente. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada.....66

Tabela 18: Análise crítica do trabalho sobre fio dental. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada.....67

Tabela 19: Análise crítica do trabalho sobre xampu. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada.....68

| | |
|---|----|
| Tabela 20: Análise crítica do trabalho sobre hastes flexíveis. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada..... | 69 |
| Tabela 21: Análise crítica do trabalho sobre absorvente higiênico. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada..... | 70 |
| Tabela 22: Análise crítica do trabalho sobre curativo adesivo. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada..... | 71 |
| Tabela 23: Comparação da pegada de CO ₂ em tonelada entre os cenários propostos para cada um dos produtos..... | 73 |

Sumário

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1. Justificativa..... | 1 |
| 1.2. Objetivos..... | 2 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1. Ciclo de vida do produto (product life cycle)..... | 3 |
| 2.2. Pensamento de ciclo de vida (life cycle thinking)..... | 6 |
| 2.3. Ecodesign | 8 |
| 2.3.1. Implementação | 14 |
| 2.4. Análise de ciclo de vida (ACV)..... | 17 |
| 2.5. Auditoria ambiental (eco audit)..... | 19 |
| 2.6. Produtos..... | 21 |
| 2.6.1. Escova de dentes | 21 |
| 2.6.2. Fio dental | 24 |
| 2.6.3. Xampu | 26 |
| 2.6.4. Hastes flexíveis com ponta de algodão | 27 |
| 2.6.5. Absorvente higiênico | 28 |
| 2.6.6. Curativos adesivos | 30 |
| 3. METODOLOGIA | 32 |
| 3.1. Seleção dos produtos..... | 33 |
| 3.2. Software CES EduPack..... | 34 |
| 3.2.1. Entradas | 35 |
| 3.2.2. Materiais | 36 |
| 3.2.2.1. Consumo anual | 37 |
| 3.3. Educação ambiental..... | 41 |
| 3.3.1. Grupo focal | 41 |
| 3.3.2. Organização dos alunos | 41 |

| | |
|--|-----------|
| 4. RESULTADOS..... | 43 |
| 4.1. Eco auditoria dos produtos..... | 43 |
| 4.1.1. Eco auditoria da escova de dentes..... | 44 |
| 4.1.2. Eco auditoria do fio dental | 47 |
| 4.1.3. Eco auditoria do xampu | 50 |
| 4.1.4. Eco auditoria das hastes flexíveis..... | 53 |
| 4.1.5. Eco auditoria do absorvente higiênico | 56 |
| 4.1.6. Eco auditoria do curativo adesivo | 59 |
| 4.2. Grupo focal | 62 |
| 4.3. Análise crítica dos trabalhos de seleção de materiais e auditoria ambiental dos alunos de graduação..... | 65 |
| 4.3.1. Escova de dentes | 66 |
| 4.3.2. Fio dental | 67 |
| 4.3.3. Xampu | 68 |
| 4.3.4. Hastes flexíveis..... | 69 |
| 4.3.5. Absorvente higiênico | 70 |
| 4.3.6. Curativo adesivo | 71 |
| 5. DISCUSSÃO | 72 |
| 5.1. Eco audit e ecodesign | 72 |
| 5.1.1. Curativo adesivo | 73 |
| 5.1.2. Haste flexível | 74 |
| 5.1.3. Fio Dental | 74 |
| 5.1.4. Escova de dente | 75 |
| 5.1.5. Xampu | 76 |
| 5.1.6. Absorvente higiênico | 76 |
| 5.2. Forças da mudança para assegurar o ecodesign de produtos.. | 78 |
| 6. CONCLUSÕES | 83 |
| 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS | 84 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 85 |

1. INTRODUÇÃO

1.1. Justificativa

A pauta sobre impactos ambientais vem tomando cada vez mais força e se fazendo mais presente no dia-a-dia da população. De fato, a questão da geração de resíduos é preocupante. Um estudo do IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada) de 2019 mostrou que os resíduos sólidos se tornaram um ponto focal ao se realizar planejamento urbano mundialmente. No Brasil, estimativas mostram que para 160 mil toneladas de resíduos sólidos urbanos diários, de 30 a 40% são passíveis de reutilização e reciclagem. Entretanto, a realidade é gritante e apenas 13% desses resíduos vão para reciclagem.

Organizações não governamentais ao redor do mundo possuem grande importância na questão ambiental por levantarem dados capazes de dimensionar o problema. Segundo a WWF Brasil (2019), a indústria de plásticos, desde 2000 até 2019, tinha produzido uma quantidade igual em todos os anos anteriores somados. Além disso, desde 2000, a produção polimérica cresce 4% ao ano, já aumentando 200 vezes desde 1950.

Dos dados mais recentes disponibilizados pela organização, o mundo alcançou a marca de 396 milhões de toneladas métricas, o que equivale a 53 quilos de plástico por pessoa no mundo. Estima-se que, se for utilizada a capacidade total de produção de plástico, a produção atual poderá aumentar em 40% até 2030. Outra informação relevante é que o Brasil foi classificado como o 4º maior produtor de lixo plástico no mundo, atrás de EUA, China e Índia. (WWF BRASIL, 2019)

Atualmente, os impactos ambientais causados por embalagens, principalmente plásticas, são mais difundidos na sociedade. Mais de 350 organizações fazem parte da iniciativa *“New Plastics Economy Global Commitment”* da fundação Ellen MacArthur, visando construir uma economia circular para os plásticos. Isso envolve reconhecer que não se pode mais ignorar a questão de resíduos sólidos não só no Brasil, mas no mundo. E, além disso, repensar a forma com que se leva os produtos às pessoas é parte crucial da solução. (ELLEN MACARTHUR, 2017)

De acordo com dados da fundação Ellen MacArthur, se apenas 20% das embalagens de plástico de uso único fossem substituídas por alternativas reutilizáveis, haveria uma oportunidade econômica de pelo menos 10 bilhões de dólares.

Por outro lado, apesar de todos os números apresentados, se pararmos para observar o consumo de produtos cotidianos, vamos encontrar muitas embalagens plásticas e materiais de uso único. Junto a isso, no Brasil, a Política Nacional de Resíduo Sólido (PNRS - lei Nº 12.305) foi estabelecida só em 2010 e os números, como vistos ainda que em pequena amostra, não são animadores. Estabelecer uma lei é suficiente para lidar com a questão do resíduo produzido? Qual o papel das empresas e dos consumidores em relação a isso? Como alcançar um ponto ótimo em que legislação, consumidor e design do produto interajam de maneira simbiótica?

1.2. Objetivos

Este trabalho possui três principais objetivos:

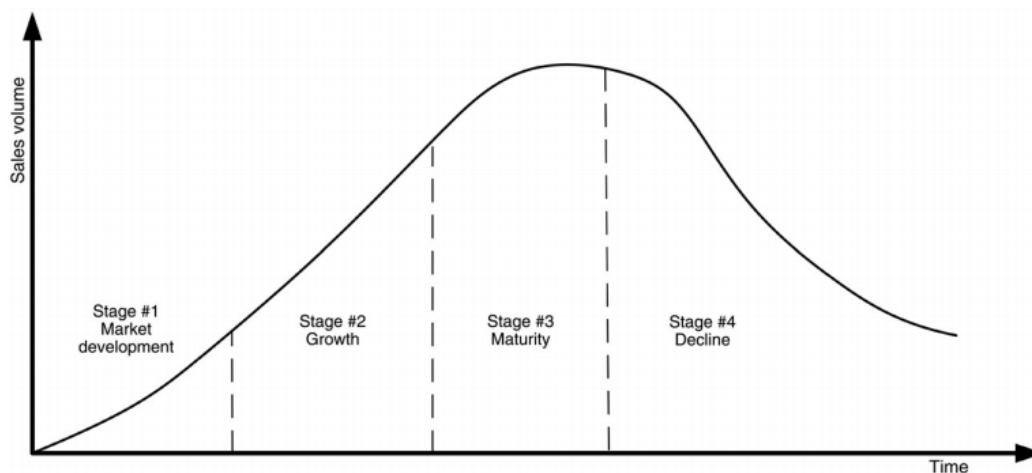
- I. Propor e discutir o projeto ambientalmente responsável dos seguintes produtos:
 - A. Escova de dentes
 - B. Fio dental
 - C. Xampu
 - D. Hastes flexíveis
 - E. Absorvente higiênico
 - F. Curativos adesivos
- II. Discutir qual o papel da educação na conscientização ambiental.
- III. Entender e discutir como a legislação, o comportamento do consumidor e definições técnicas do produto interagem. E, junto a isso, entender e explorar quais são as forças de mudança dentro do contexto de consumo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ciclo de vida do produto (*product life cycle*)

Ciclo de vida de um produto pode ser um termo amplo e aplicável em diferentes áreas do conhecimento. Dois modelos principais estão relacionados com marketing e com a engenharia. O conceito inicial foi o de marketing e está ilustrado na Figura 1. Este surgiu na América do Norte e estava centrado em torno da necessidade de produzir um modelo para explicar o sucesso ou o fracasso de um produto e, a partir disso, guiar estratégias relacionadas a preço e fabricação (CAO et al., 2011).

Figura 1: Ciclo de vida do produto (abordagem de marketing). Da esquerda para a direita: Etapa 1: Desenvolvimento de mercado, Etapa 2: Crescimento, Etapa 3: Maturidade e Etapa 4: Declínio.



Fonte: (CAO et al., 2011)

Apesar da ideia inicial ser essa apresentada, apresentou-se uma necessidade de expansão em outras áreas a fim de buscar entendimento do produto em outras etapas. Isso fez com que surgissem diversas formações de teoria de ciclo de vida do produto à medida em que profissionais foram adotando o conceito inicial e aplicando em suas próprias linhas de pesquisa (CAO et al., 2011).

Com o tempo, algumas críticas surgiram acerca do Ciclo de Vida do Produto no ponto de vista do marketing. E, assim, observou-se uma necessidade da pesquisa ir além do produto já pronto e considerar desde o momento de sua idealização. A pesquisa sobre o Ciclo de Vida do Produto chamado “da engenharia”, teve origem junto com o desenvolvimento de modelos como Custo do Ciclo de Vida (*life cycle cost*

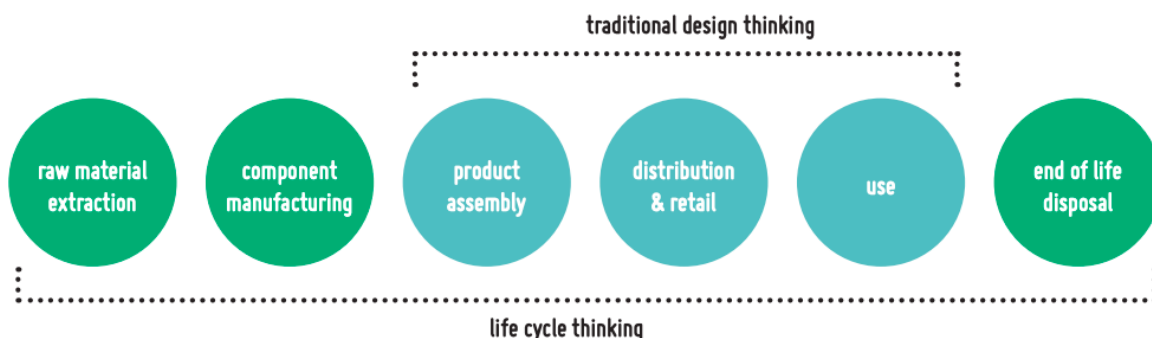
a divisão de três principais fases: início da vida (*beginning of life*); meio da vida (*middle of life*) e fim da vida (*end of life*). Essa segmentação abrange o processo de design e manufatura, a compra e uso de produtos e, por fim, o descarte destes, respectivamente.

2.2. Pensamento de ciclo de vida (*life cycle thinking*)

Life cycle thinking (LCT) trata-se de um modelo sistêmico que leva em consideração uma visão holística da produção e consumo de um produto (HUANG et al., 2020). Os principais objetivos do LCT são a redução do uso de recursos e de emissões para o meio ambiente, assim como melhorar a sua performance socioeconômica durante seu ciclo de vida. Com isso, é possível facilitar vínculos entre as dimensões econômica, social e ambiental dentro de uma companhia e na sua cadeia de valor (LIFE CYCLE INITIATIVE, 2021). Essas três esferas podem ser chamadas de *triple bottom line*, conhecido como o tripé da sustentabilidade (WALKER et al., 2020).

Analisar o setor industrial adotando *life cycle thinking* significa ir além do foco tradicional da empresa e considerar que o ciclo de vida de um produto começa desde a extração de matérias primas e que os materiais assim como a energia utilizada são parte da produção, embalagem, uso, manutenção e, eventualmente, reciclagem, reuso, recuperação ou disposição final (LIFE CYCLE INITIATIVE, 2021). LCT pode ser simplificado como olhar para cada estágio do ciclo de vida de um produto e identificar potenciais oportunidades para redução de consumo e melhoria de performance. A Figura 3 ilustra a mudança entre o pensamento de design tradicional e o LCT.

Figura 3: Comparação entre a abordagem do pensamento tradicional de design (linha tracejada de cima) e o pensamento considerando o ciclo de vida (linha tracejada de baixo). Da esquerda para a direita tem-se as etapas: Extração de matéria-prima, manufatura dos componentes, montagem do produto, distribuição e venda, uso e fim de vida com disposição final.



Fonte (ENEC, 2014)

Heiskanen (2002), estuda diversos fatores envolvidos no LCT e vê o conceito como uma lógica institucional emergente incorporando os produtos como fontes de problemas ambientais. Isso implica que as empresas não são só responsáveis pelos danos ambientais causados por suas próprias atividades físicas, mas também pela ampla intervenção ambiental durante toda a cadeia dos produtos.

Essa passagem do olhar pontual para uma visão mais ampla se fortalece a partir de ferramentas que traduzem interesses. Assim, mais atores (*stakeholders*) são envolvidos e até, por exemplo, compradores varejistas de roupas se preocupam com os problemas ambientais nos países em que compravam suas mercadorias (HEISKANEN, 2002).

A abordagem de LCT pode ser aplicada em diferentes escalas, não só considerando produtos únicos, mas indo até sistemas mais complexos, como cidades. Estratégias implementadas para alcançar moldes sustentáveis, sejam eles para cidades ou produtos, não devem funcionar umas contra as outras. Nesse sentido, o LCT pode fornecer resultados integrados para a tomada de decisões. Por outro lado, o LCT apresenta algumas limitações metodológicas, existindo a necessidade de se identificar deficiências na aplicação do pensamento junto aos aspectos de sustentabilidade (PETIT-BOIX et al., 2017).

2.3. Ecodesign

O aumento das abordagens de “bem estar” junto com as ambições de crescimento mudaram o escopo de design para um produto. O objetivo das empresas não se restringe em atender às necessidades funcionais, mas foca-se em construir uma imagem e desejos para o consumidor. Em uma perspectiva a longo prazo, a criação de uma demanda de mercado vem antes do que o design e produção do produto (LUTTROPPE et al., 2006).

Para Luttropp et al. (2006), isso torna complexo o desenvolvimento de produtos sustentáveis, uma vez que os produtos que definem um estilo de vida são cada vez mais dominantes. Uma comparação estabelecida é entre cidades mais e menos desenvolvidas. Enquanto que aquelas com maior acesso a mais capital, tem uma população voltada para os produtos, viagens e educação que caracterizam suas vidas, as cidades com menor poder, apresenta a eficiência em processos muito mais valorizada em termos de transporte, distribuição de alimentos e água limpa.

A fase conceitual de design, tipicamente, incorpora escolhas de configuração e especificação do produto. Decisões que emergem dessa etapa são congeladas devido à grande quantidade de recursos - tempo, mão de obra e dinheiro - necessária para mudar de caminho. Acredita-se também que as primeiras fases do processo de design são as que mais influenciam no aspecto ambiental do produto. Impactos ambientais do ciclo de vida de um produto deveriam ser levados em consideração na avaliação da viabilidade do conceito junto com outros critérios de design tradicionais, como custos de performance operacionais, a fim de prevenir erros ambientais de acontecerem (SOUSA, 2006).

Atualmente, existem diversas definições para o termo, entretanto, as características mais comumente encontradas nas definições de ecodesign são a busca por redução de impacto ambiental levando em consideração o Life Cycle Thinking e adotando o foco no design do produto (ENEC, 2014).

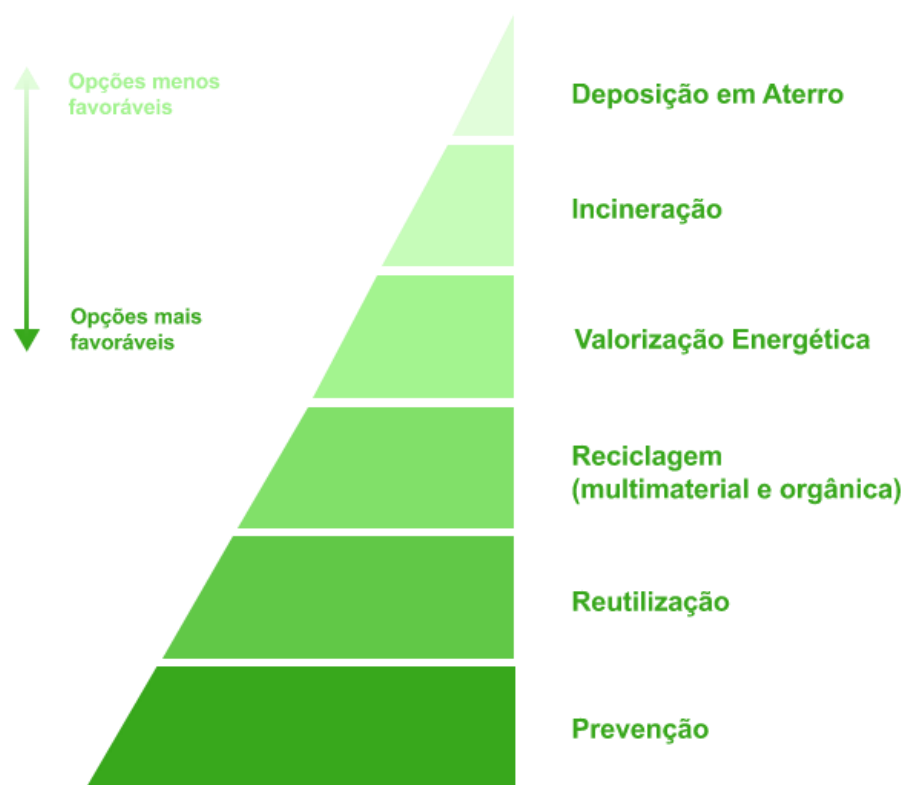
A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no Brasil só foi criada em 2010 e consiste em uma lei (*Lei nº 12.305/10*) que regulamenta hábitos de consumo mais sustentáveis. Isso porque esta propõe formas para lidar com os resíduos sólidos

gerados e serve como exigência de gerenciamento para empresas públicas e privadas.

Alguns dos tipos de resíduos citados por essa política pública são os domiciliares, os industriais, os de saneamento público, os de saúde, os de construção civil e os tóxicos. Vale a observação que a lei não abrange os resíduos radioativos uma vez que estes possuem uma legislação própria. De forma sucinta, a lei diz que todo o resíduo sólido deve ser processado da maneira considerada mais adequada antes do destino final e, além disso, coloca as empresas como responsáveis por este destino. Companhias que descumprirem as regras estabelecidas pela PNRS estão sujeitas a punições monetárias. O artigo 9º da PNRS lista a prioridade na gestão dos resíduos sólidos como ilustra a pirâmide.

Figura 4: Pirâmide de hierarquia das opções de gestão de resíduos.

Hierarquia das opções da gestão de resíduos



Fonte: (LIPOR, 2021)

1. Não geração
2. Redução
3. Reutilização
4. Reciclagem e tratamento de resíduos
5. Disposição final

A proposta apresentada e seguida na PNRS é alinhada com o conceito discutido de *ecodesign*, em especial na ordem da Figura 4, uma vez que obedece a perspectiva de desenhar produtos com menos geração de resíduos.

A Diretiva de *Ecodesign* da *Enterprise Europe Network* (2016) aponta que o conceito de ciclo de vida abordado anteriormente se faz essencial para o conceito de *EcoDesign*. Isso porque em cada etapa do ciclo de vida há aspectos e impactos ambientais. Assim, quando se utiliza a expressão “abordagem do ciclo de vida”, se faz referência a essa abordagem integrada a fim de desenvolver produtos com menores impactos ambientais.

Ainda segundo a Diretiva, alguns pontos podem ser assegurados ao se adotar uma abordagem que engloba todo o ciclo de vida dos produtos:

- Controle de material: Nada é excluído de forma arbitrária;
- São consideradas todas as características ambientais do produto;
- Além do próprio produto, é considerado todo o sistema no qual ele opera e funciona;
- Não há transferência entre impactos ambientais de uma fase para outra do ciclo de vida. Para isso, é necessário que métodos e ferramentas específicas sejam adotados com suporte científico;

De fato, LCT é um aspecto essencial para o *ecodesign*, porque leva em consideração o ciclo de vida inteiro do produto, se diferenciando da abordagem tradicional de *design thinking*, uma vez que expande o foco em design e fabricação para estágios adicionais pré e pós fabricação (conhecidos como *upstream* e

downstream) além do transporte envolvido. Existem métodos quantitativos e qualitativos que permitem concretizar o conceito de *ecodesign* (WILLOCX, 2021). Entre eles, os mais conhecidos são apresentados na Tabela 1 a seguir.

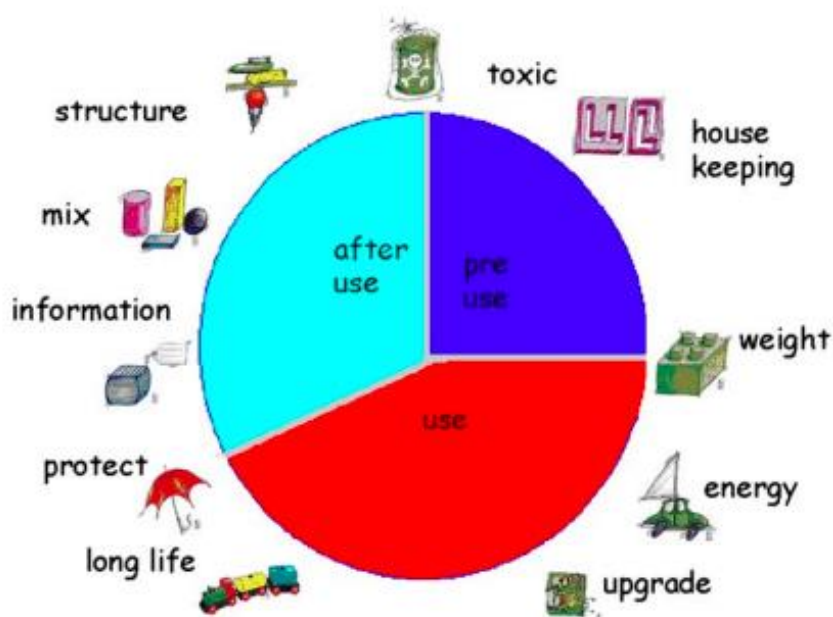
Tabela 1: Métodos utilizados para a aplicação do *ecodesign*.

| Quantitative assessment methods | Prescriptive methods |
|--|---|
| Life Cycle Analysis (LCA) [9] Systematically quantifies the impact of the product during the whole lifecycle. Based on comprehensive data on the specific processes used. | 10 Golden Rules [10] Provides general guidelines that aim to improve the environmental performance of a product. These guidelines have to be adapted for each product category before use. |
| Integration with Computer Aided Design (CAD) [11] During embodiment design, the CAD software performs a simplified LCA, immediately illustrating the consequences of a design decision. This however requires comprehensive data on the specific processes used. | Ecodesign Strategy Wheel [1] Provides general guidelines during design to improve the environmental performance of a product in the different stages of its lifecycle. A subjective prioritization mechanism is included. This method is shown in figure 1. |
| MECO Matrix [12] Semi-quantitative estimation of environmental impact based on materials, energy and other substances during the product lifecycle. | Design for X Very specific approaches that allow optimizing for a specific objective. For instance disassembly [13] and remanufacturing [14] |

Fonte: (WILLOCX, 2021)

As “Dez Regras de Ouro” foram criadas com o objetivo de ser uma ferramenta simples na educação sobre *ecodesign*. Um exemplo de curso acerca do assunto é o do *Royal Institute of Technology*, na Suécia, que conta com uma dinâmica de três passos. Primeiramente, os alunos examinam um produto funcionalmente para, em seguida, avaliá-lo do ponto de vista ambiental e, finalmente, redesenhar o produto real. A classe normalmente conta com poucos alunos, cerca de 30, os quais se dividem em grupos de 2 ou 3 estudantes e utilizam como objeto de estudo produtos do dia a dia, desde secador de cabelo até uma xícara de café (LUTTROPP et al., 2006).

Figura 5: As dez regras de ouro do *ecodesign* são organizadas de acordo com o ciclo de vida do produto.



Fonte: (LUTTROP et al., 2006)

As 10 regras podem ser descritas, genericamente, como seguem (LUTTROP et al., 2006):

1a regra: Não usar substâncias tóxicas

2a regra: Minimizar o consumo de energias e de recursos na fase de produção e transporte melhorando a disposição em centros de distribuição.

3a regra: Usar recursos estruturais e materiais de alta qualidade a fim de minimizar o peso, caso tais escolhas não interfiram em propriedades funcionais necessárias.

4a regra: Minimizar o consumo de energia e de recursos na fase de uso, especialmente para produtos com grande impacto nesse estágio.

5a regra: Promover reparos e melhorias, especialmente para produtos que dependem de sistemas (por exemplo: celulares, computadores).

6a regra: Promover vida longa, especialmente para os produtos que apresentam maior impacto ambiental nas outras fases que não a de uso.

7a regra: Investir em melhores materiais, tratamento de superfícies ou em arranjos estruturais a fim de proteger produtos contra sujeira, corrosão e desgaste, garantindo uma menor necessidade de manutenção e maior vida útil ao produto.

8a regra: Pré-arranjar melhoras, reparo e reciclagem a partir de rótulos, módulos, pontos de interrupção e manuais.

9a regra: Promover atualização, reparo e reciclagem utilizando poucos materiais, simples, reciclados e não misturados.

10a regra: Usar o mínimo possível de elementos de junção, preferindo parafusos, adesivos, solda, encaixes instantâneos, entre outros, de acordo com o cenário do ciclo de vida.

Em seu estudo, Luttrupp et al. (2006) apresenta as “Dez Regras de Ouro”, mas também propõe alterações conforme aplicação. É interessante ter uma ferramenta assim, uma vez que se torna adaptável conforme setor e segmentação de mercado, podendo ser aplicada em diversos cenários.

A diretiva de 2016 da *Enterprise Europe Network* aponta a importância do ecodesign tanto para o meio ambiente como para as empresas em termos de desenvolvimento do negócio. O benefício apresentado como mais direto é a redução de impactos ambientais atrelados aos “inputs” (consumo de matéria-prima, energia e água) e aos “outputs” (geração de resíduos e emissões). Mas, além disso, a adoção do ecodesign permite redução de custo para as empresas, melhora na qualidade e durabilidade do produto, promove inovação e também assegura a conformidade com legislações ambientais, por exemplo.

A aplicação do *ecodesign* se mostra como ferramenta essencial para companhias que reconhecem que a responsabilidade ambiental do produto tem extrema importância para o sucesso sustentável a longo prazo, uma vez que promove a inovação do produto, melhoria da qualidade, melhoria da imagem, redução de riscos, novas oportunidades de negócios, desenvolvimento de novos mercados, entre outros (PIGOSO et al., 2013).

Mesmo assim, não se pode deixar de listar alguns principais motivadores para o *ecodesign*: foco dos governos na pegada de carbono; leis (como as taxas por

emissão de carbono); incentivos; desejo por uma fabricação mais responsável e o ganho monetário em fazer mais com menos. Junto a isso, as empresas melhoram sua imagem, uma vez que ser ecologicamente correto pode agregar valor ao produto (GRANTA, 2019).

Diversos autores discutem a influência do *ecodesign* no processo de produção. Isso se deve ao fato de que se estima que mais de 80% dos impactos ambientais de um produto são determinados na fase de design. De forma geral, o grande desafio reside em encontrar soluções que sejam mais sustentáveis, mas que façam sentido para a empresa tanto a curto como a longo prazo e que satisfaçam as necessidades dos consumidores (ENTERPRISE EUROPE NETWORK, 2016).

2.3.1. Implementação

Ao longo das últimas décadas, o *ecodesign* emergiu como uma abordagem promissora para integrar preocupações ambientais acerca do desenvolvimento de produtos e os processos relacionados. O maior objetivo é minimizar impactos ao longo do ciclo de vida do produto sem comprometer outros critérios essenciais como performance e custo. Apesar dos benefícios do *ecodesign*, inclusive já apresentados, e das diversas ferramentas e técnicas, a aplicação atual do conceito ainda não abrangeu, majoritariamente, companhias em todo mundo. Isso se deve, principalmente, às dificuldades de implementação e gestão do *ecodesign* (PIGOSO et al., 2013).

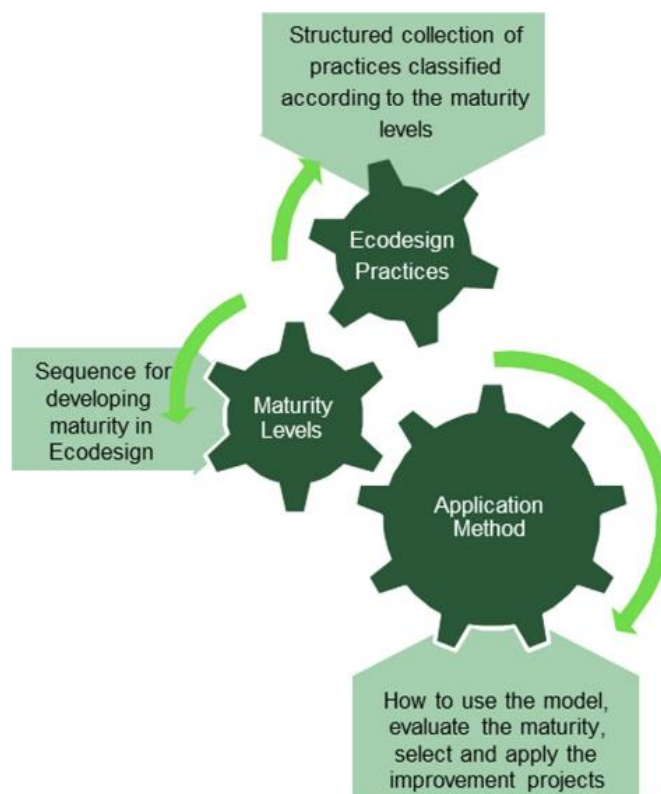
O estudo Pigoso et al. (2013) reuniu os motivos principais para dificuldades para a implementação do *ecodesign*. Estes podem ser listados como:

- a) Falta de sistematização das práticas de *ecodesign* existentes e intenso desenvolvimento de novas ferramentas de design técnico de produtos em detrimento dos modelos gerenciais;
- b) Falta de integração entre o *ecodesign* e o amplo contexto de desenvolvimento de produtos, gestão e estratégia corporativa;
- c) Falta de um *roadmap* para apoiar as empresas na melhoria contínua da implementação do *ecodesign*, que pode continuamente direcionar ações para níveis mais elevados de implementação

- d) Dificuldades enfrentadas pelas empresas na definição e priorização das práticas de *ecodesign* a serem empregadas e na passagem de projetos-piloto para a adoção do *ecodesign* no negócio.

O modelo de maturidade do *ecodesign* (*the ecodesign maturity model*) é uma estrutura de gestão com uma abordagem de passo a passo, cujo objetivo é auxiliar as empresas na implementação e sucesso do *ecodesign*. Pigoso et al. (2013) apresenta 3 principais etapas ilustradas na Figura 6.

Figura 6: Os três principais elementos do modelo de maturidade de *ecodesign*. De cima para baixo: práticas do *ecodesign*; níveis de maturidade; método de aplicação.



Fonte: (PIGOSO et al., 2013)

- I. Práticas de *ecodesign*: coleção abrangente de práticas relacionadas à gestão de *ecodesign*, questões técnicas de design de produto e técnicas e ferramentas associadas;
- II. Níveis de maturidade do *ecodesign*: conjunto prescritivo de estágios sucessivos para a incorporação de questões ambientais no desenvolvimento de produtos e processos relacionados;

- III. Método de aplicação: uma abordagem prescritiva de melhoria contínua para apoiar as empresas na implementação e gestão do *ecodesign*.

2.4. Análise de ciclo de vida (ACV)

Dos métodos apresentados acima, é interessante aprofundar as concepções de Análise de Ciclo de Vida (ACV) uma vez que esta terá importância relevante no trabalho. ACV pode ser definida como um método para quantificar o impacto ambiental que um produto ou serviço causa ao longo de seu ciclo de vida, desde a aquisição de matéria prima passando por produção, uso, tratamento de fim de vida, reciclagem e disposição final (ciclo conhecido como *berço ao túmulo*). Os impactos ambientais que podem ser quantificados incluem: depleção da camada de ozônio, aquecimento global, acidificação do solo e da água e toxicidade humana (ZAMAGNI, 2016; ASHBY et al., 2012). Em um estudo de ACV existem quatro fases (ISO 14040, 2006):

Definição de objetivo e escopo: O escopo assim como a barreira do sistema e o nível de detalhamento da ACV depende do objetivo e da intenção do estudo. Assim, a profundidade do estudo pode variar consideravelmente dependendo do objetivo deste.

Análise de Inventário: A fase de análise de inventário pode ser considerada a fase mais importante de uma ACV. É nesse estágio em que faz-se um inventário de todos os dados de entrada e de saída do sistema em estudo. AI envolve a coleta dos dados necessários para alcançar o objetivo definido para o estudo.

Avaliação de Impacto: Esse 3º estágio do estudo de ACV tem como propósito providenciar informações adicionais para auxiliar na avaliação da Análise de Inventário do sistema de produto em estudo e compreender seu impacto ambiental.

Interpretação: A última fase de uma ACV consiste na avaliação e interpretação das duas fases anteriores. Esta não é qualitativa como as demais e envolve uma discussão a fim de chegar em uma solução de acordo com o objetivo e escopos definidos.

Entretanto, mesmo com essa separação em etapas, é importante dizer que a ACV é, essencialmente, iterativa. Dependendo de análises e reflexões contínuas. Esse método foi desenhado e criado a partir de uma norma internacional chamada ISO 14040. Para a realização de estudos de ACV usam-se opções de softwares, GaBi e SimaPro representam os dois mais importantes nesse ramo como ferramenta de ACV usado por pesquisadores e empresas (WILLOCX, 2021).

Figura 7: Exemplo de possível resultado de uma ACV para latas de alumínio.

| Aluminum cans, per 1000 units | | |
|--------------------------------------|------------------------------|-----------------------|
| Resource consumption | • Bauxite | 59 kg |
| | • Oil fuels | 148 MJ |
| | • Electricity | 1572 MJ |
| | • Energy in feedstocks | 512 MJ |
| | • Water use | 1149 kg |
| Emissions inventory | • Emissions: CO ₂ | 211 kg |
| | • Emissions: CO | 0.2 kg |
| | • Emissions: NO _x | 1.1 kg |
| | • Emissions: SO _x | 1.8 kg |
| | • Particulates | 2.47 kg |
| Impact assessment | • Ozone depletion potential | 0.2 x 10 ⁹ |
| | • Global warming potential | 1.1 x 10 ⁹ |
| | • Acidification potential | 0.8 x 10 ⁹ |
| | • Human toxicity potential | 0.3 x 10 ⁹ |

Fonte: (ASHBY et al., 2012)

Apesar do caráter formal do método de ACV, a interpretação dos resultados acaba sendo subjetiva, uma vez que esta varia de acordo com o objetivo e escopo estabelecidos. O resultado será aproximado ao da Figura 7. Além disso, a AVC demanda muitos recursos como tempo, dinheiro e um nível detalhado dos dados. Junto a isso, o método não lida com o fato de que cerca de 80% do impacto ambiental de um produto é determinado nas fases iniciais de design. Com esses argumentos, Ashby et al. (2012) apontam que a ACV é uma ferramenta de avaliação de produto, mas não de design (ASHBY et al., 2012).

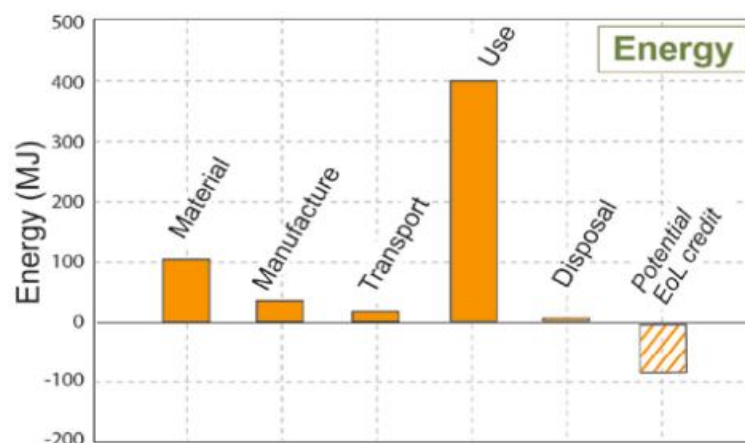
2.5. Auditoria ambiental (*eco audit*)

Para o caso de conhecer os impactos causados por um produto e ter um maior controle deles ainda nas fases iniciais, é necessário uma avaliação que aborda preocupações atuais, custo aceitável e precisão suficiente para orientar a tomada de decisão. Ashby et al. (2012), apresenta esses pontos para discutir a auditoria ambiental (*eco audit*). Tendo o foco em *ecodesign*, utilizar uma ferramenta que seja similar com uma técnica de prevenção a poluição é mais consistente.

Auditoria ambiental, ou “eco auditoria” pode ser dita como uma avaliação de ciclo de vida simplificada, que permite comparações entre os impactos ambientais de diferentes produtos, materiais e processos com foco apenas no consumo de energia e na emissão de CO₂ como indicadores de impactos mais significativos (ASHBY, 2009). Essas métricas são calculadas para cada fase correspondente do ciclo de vida de um produto: material (extração e/ou obtenção da matéria-prima), fabricação, transporte, uso e descarte. Essas métricas são calculadas para cada fase correspondente do ciclo de vida de um produto: material (extração e/ou obtenção da matéria-prima), fabricação, transporte, uso e descarte.

Esse método é flexível o suficiente para contemplar alterações futuras e simples para explorar alternativas hipotéticas. Por isso, a auditoria ambiental não é tão detalhada quanto a ACV e foca nos indicadores mais usados mundialmente. Entretanto, não exclui a importância de maior aprofundamento em fases posteriores pela implementação desta (ASHBY et al., 2012).

Figura 8: Distribuição do gasto energético associado a cada fase do ciclo de vida: Material, manufatura, transporte, uso, disposição final e potencial de fim de vida (da esquerda para a direita).



Fonte: (ASHBY et al., 2012)

A abordagem adotada pela *eco audit* contém 3 principais componentes: adoção de medidas simples (gasto energético e pegada de gás carbônico); distinção de fases do ciclo de vida; basear ações subsequentes nas fases dominantes. A fase dominante pode ser caracterizada pelo maior consumo de energia, assim como pela maior emissão de gás carbônico. A identificação dessa fase é de extrema importância uma vez que o recebe foco inicial por ter maior potencial de redução de impacto. Uma eco auditoria necessita de uma base bem documentada para poder estabelecer comparações entre os impactos gerados (ASHBY et al., 2012; LIU et al., 2019).

2.6. Produtos

2.6.1. Escova de dentes

A maioria dos historiadores datam a criação da primeira escova de dentes (cerdas de pelos de porco colocadas em osso de boi) como 1498, na China, apesar de existirem evidências que chineses usavam crinas de cavalo junto com peças de marfim já por volta de 1000 d.C. (FISCHMAN, 1997).

A escova com cerdas foi reinventada no começo do século XIX por H. N. Wadsworth, nos Estados Unidos. Porém o alto custo das cerdas feitas de pelos de animais, fez com que a escova de dentes não se tornasse um item difusamente utilizado até o final do século XIX (JARDIM, 2009). E, no início do século XX, uma escova de dentes por família era bem comum. Entretanto, os mais ricos não apenas se adaptaram ao uso do produto como buscaram maneiras de este ser um item de luxo com seus cabos feitos de metais preciosos (FISCHMAN, 1997).

Foi no final dos anos 30 que o nylon começou a substituir as cerdas naturais, junto com isso, os cabos também se transformaram e começaram a ser feitos de madeira e polímeros sintéticos. Assim, a escova de dentes se tornou acessível o suficiente para que grande parte da população pudesse ter uma de forma individual (FISCHMAN, 1997).

Os produtos evoluem junto com avanços tecnológicos e, assim, a primeira escova de dentes elétrica foi desenvolvida em 1939 na Escócia, porém, só foi para o mercado nos anos 1960 (JARDIM, 2009). Por outro lado, é importante considerar que não é só pela tecnologia que as inovações devem ser guiadas. A sustentabilidade ambiental é uma questão de saúde pública mundial. O planeta enfrenta uma série de desafios como a mudança climática, a perda de biodiversidade, poluição do ar e de águas e depleção de ozônio (LYNE, 2020).

Esse cenário está ligado diretamente com o comportamento do consumidor e resíduos gerados. Por isso, estudos como o de Lyne (2020) são feitos a fim de comparar impactos ambientais de produtos do cotidiano e, assim, deixar as escolhas mais conscientes na hora da compra. O estudo utilizou a metodologia de Análise de Ciclo de Vida para quantificar impactos ambientais de quatro diferentes modelos de

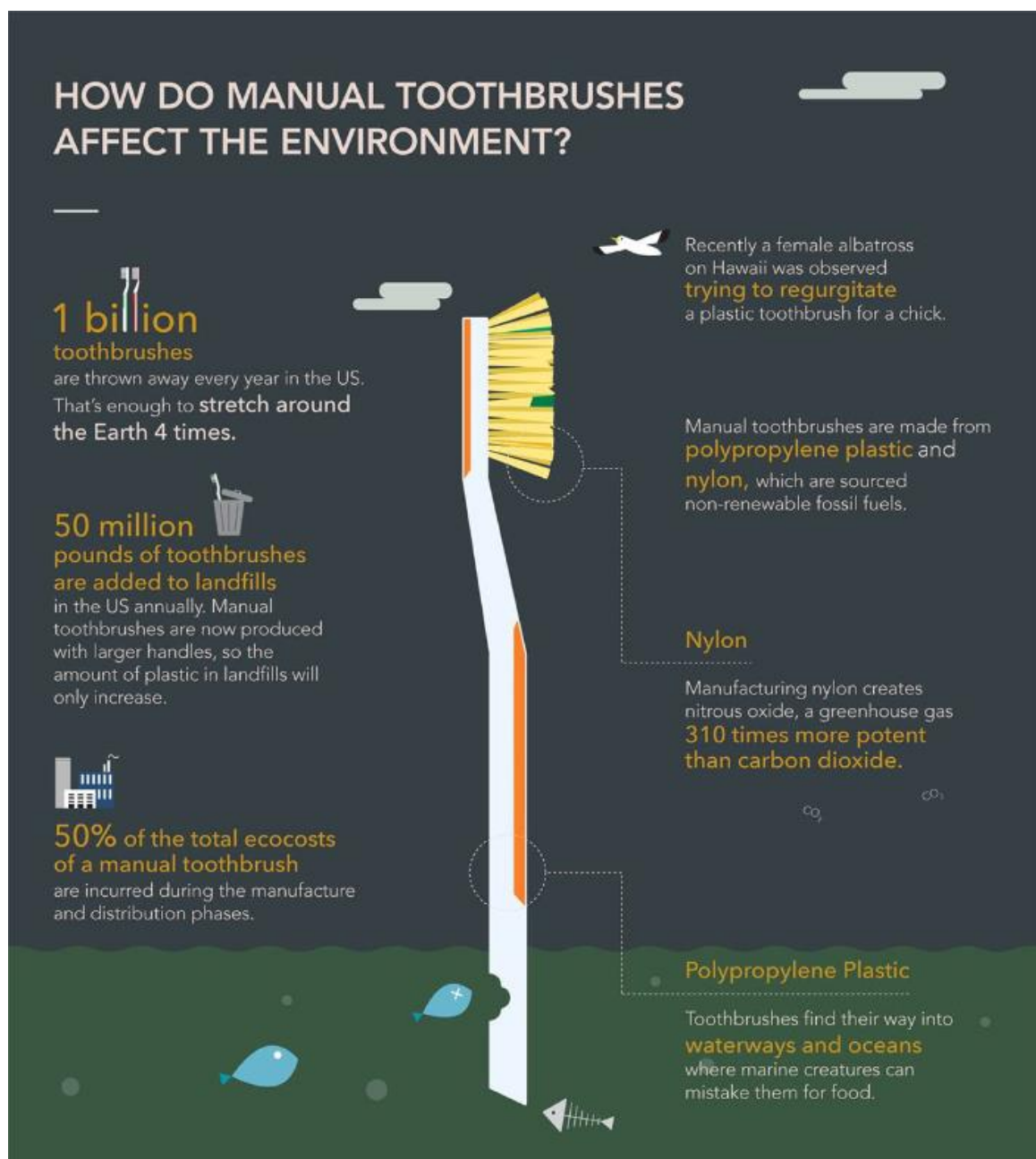
escovas de dentes (manual e de plástico, elétrica e de plástico, manual, de plástico e com a cabeça substituível e manual de bambu) considerando um tempo de 5 anos.

A escova de dentes que apresentou a pior performance foi a elétrica de plástico, enquanto que a de bambu e a com cabeça substituível tiveram os menores impactos ambientais em todas as categorias analisadas (LYNE, 2020).

Entretanto, BOTTAN (2010), mostra que no Brasil, cerca de 43,6% das pessoas escolhiam sua escova de dentes pelo preço e outros 43,1% se guiavam pela marca ou por propaganda. Esses dados deixam claro a importância de se chegar em um produto que seja acessível economicamente, tenha confiabilidade para o consumidor e, ao mesmo tempo, tenha menores impactos ambientais.

O mercado global de escovas de dentes em 2019 registrou o faturamento de 6,8 bilhões de dólares e tem uma projeção para alcançar 8,24 bilhões de dólares até 2027 (FORTUNE BUSINESS, 2021).

Figura 9: Infográfico de como escovas de dentes manuais afeta o meio ambiente. O nylon é apontado como responsável por criar óxido de nitrogênio, 310 vezes mais potente que o gás carbônico. O polipropileno que acaba nos oceanos pode ser confundido com comida pelos animais ali presentes.



Fonte: (FOREO, 2021)

Seguindo as recomendações da embalagem do produto, a troca ideal de escova de dentes é a cada três meses. Assim, uma pessoa deveria consumir, por ano, cerca de 4 unidades.

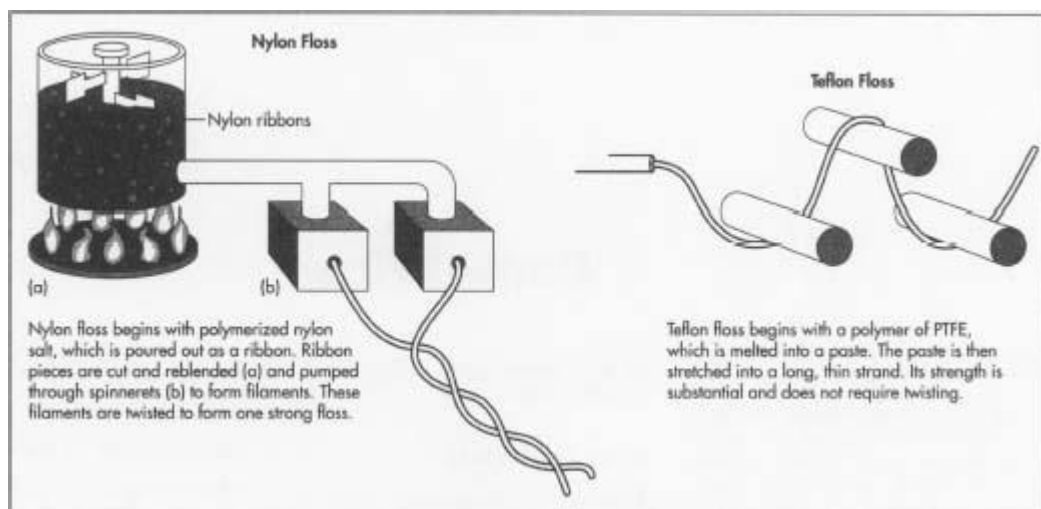
2.6.2. Fio dental

Levi Parmly foi um dentista de Nova Orleans e o primeiro a reportar uma preocupação com as superfícies entre os dentes denominado, portanto, o inventor do fio dental em 1815 (FISCHMAN, 1997). A recomendação dada era de que o instrumento deveria ser passado nos interstícios dos dentes, a fim de retirar os resíduos que nenhuma escova de dentes era capaz de remover e que pode causar bastante *angústia* em termos de saúde dentária. Inicialmente, no século XIX, o fio dental era feito de seda, mas, logo após a segunda guerra mundial, o nylon ganhou espaço no mercado (JARDIM, 2009).

Mais tarde, utilizar o fio dental ganhou atenção por ser um método para remover a placa bacteriana interproximal. Apesar de FISCHMAN (1997) apontar que a dificuldade em utilizar o produto tenha tido como consequência novos métodos e aparelhos para atender a mesma função, JARDIM (2009) mostra que o consumo de fio dental triplicou desde o final do século XX até o início do século XXI.

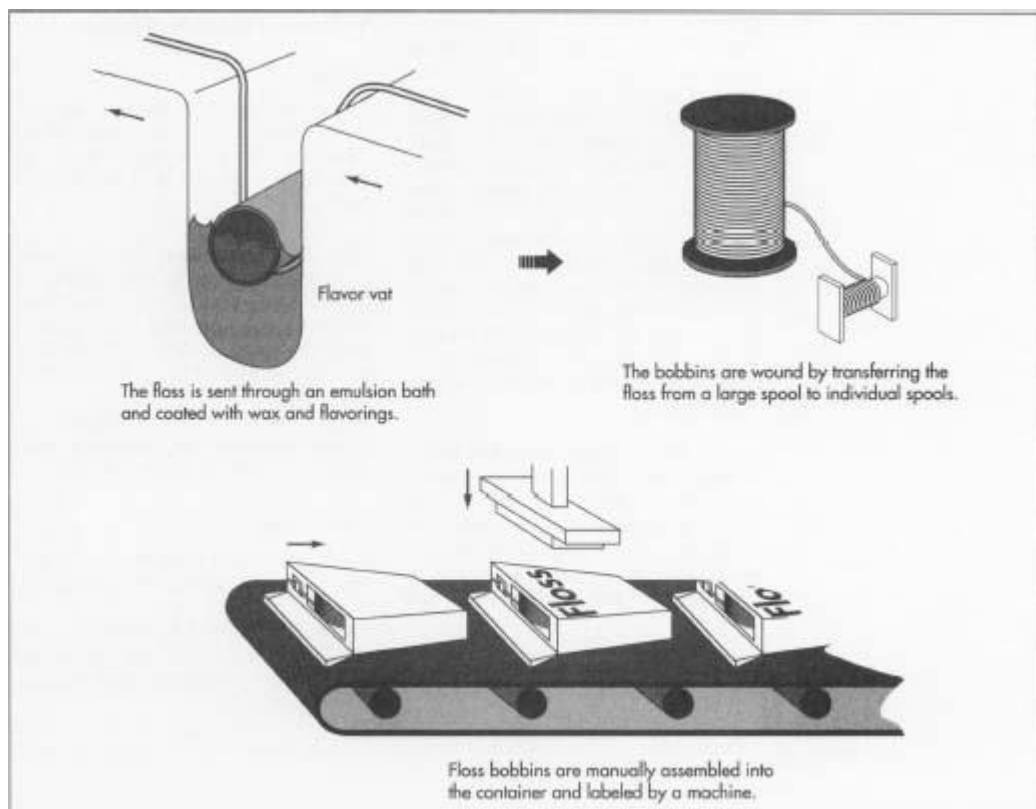
Atualmente, o fio dental, na maioria das vezes, é feito de nylon e é acompanhado de uma embalagem também polimérica. Tanto o fio dental, assim como seu envoltório são descartados. Esse comportamento é visível durante as últimas décadas, nas quais vivencia-se o crescente uso de embalagens descartáveis e diminuem aquelas reutilizáveis (COELHO, 2020).

Figura 10: Esquema da polimerização do nylon a ser utilizado no fio dental.



Fonte: (MADE HOW, 2021)

Figura 11: Esquema da produção do fio dental: construção da bobinha e estampagem das caixinhas.



Fonte: (MADE HOW, 2021)

Entretanto, pressões ambientais em cima dessas embalagens de uso único clamam por mudança. Pensando um passo antes da reciclagem, alguns métodos e ideias sobre reutilização para produtos cotidianos, como a embalagem de fio dental, são apresentados por COELHO (2020). Estudos como este são cada vez mais frequentes e mostram que alternativas, não só de produtos, mas também de comportamento devem ser criadas a fim de conciliar a questão econômica e ambiental.

O mercado de fio dental brasileiro registra um crescimento anual positivo desde 2015, chegando a 2020 com o faturamento de 926,62 milhões de reais (1,7% a mais do que em 2019) (RESEARCH AND MARKETS, 2021). Na escala global, o montante em vendas foi de 558,12 milhões de dólares em 2020 (MONDOR INTELLIGENCE, 2021).

2.6.3. Xampu

A palavra “*shampoo*”, em inglês, deriva do hindi “*champo*” e tem 1762 como data de origem. Esse produto é o mais utilizado para cuidar do cabelo e do couro cabeludo, mas nem sempre foi do jeito que se conhece hoje. Nas fases iniciais do shampoo, cabeleireiros ingleses ferviam sabão com água e se adicionava ervas com a finalidade de dar brilho e aroma aos cabelos. Originalmente, o sabonete e o shampoo eram produtos muito próximos, uma vez que ambos continham os mesmos surfactantes naturais. O xampu moderno, como é chamado, foi introduzido na década de 1930 (SHARMA, 2014).

Desse produto, por sua vez, espera-se não só agentes de limpeza, mas também que não deixe o cabelo seco, que produza espuma, que não irrite o couro cabeludo e membranas mucosas, que apresente um bom aroma e deixe os fios macios e que seja economicamente acessível entre diversos outros requisitos criados. Além disso, ao comprar um shampoo, cria-se a expectativa de melhora na aparência dos cabelos de acordo com as especialidades, assim como tipo e idade (TRUEB, 2006).

Com o avanço da tecnologia e do aprofundamento em pesquisas para desenvolvimento do produto, sua lista de componentes foi ficando cada vez mais cheia. De forma geral, hoje, os ingredientes de um shampoo consistem em: surfactantes, ingredientes ativos para condicionar os cabelos, aditivos que modificam o efeito surfactante controlando viscosidade e espuma, estabilizantes e conservantes, fragrâncias e corantes (TRUEB, 2006).

Como citado acima, por anos, o shampoo foi considerado não apenas um produto cosmético com finalidade purificadora, mas responsável por manter a saúde e beleza dos fios com muitos outros benefícios atribuídos pelos fabricantes. Atualmente, a pauta ambiental se faz muito mais presente e, assim, surgem questões sobre produtos cosméticos e seus impactos (GUBITOSA, 2019).

Em termos práticos, um estudo feito pela Universidade de Coimbra, em 2020, mostra que entre os entrevistados, “cheiro” representou 32% dos critérios, sendo o principal atributo ao escolher um shampoo, seguido por cuidado capilar (11%) e “suavidade” (6%). Alguns participantes, cerca de 9%, se referiram também à

capacidade de alcançar o objetivo do produto, ou seja, manter o cabelo não oleoso quando endereçado para esses fios (COSTA, 2020).

Esses dados exemplificam o comportamento ao escolher itens de higiene pessoal cujo impactos ambientais ainda não são preocupações principais. Como consequência, há o desafio em colocar a discussão sobre sustentabilidade em pauta dentro de ações do cotidiano, mas mantendo a satisfação do consumidor com o produto.

Em termos de mercado, nos últimos 20 anos, o setor brasileiro de Higiene Pessoal, Perfumaria e Cosméticos apresentou crescimento constante e, em 2012, atingiu o faturamento de 41,7 bilhões de dólares, segundo dados do Instituto Euromonitor. Especificamente para o segmento de shampoos e condicionadores, em 2014, o Brasil ocupava o segundo lugar no mercado mundial atrás dos EUA. Dados também de 2012 indicam um faturamento de 3,1 bilhões de reais, dos quais 1,44 bilhões de reais correspondem a shampoos (INCOSMETICS, 2014).

Em 2020, o Brasil ocupou a quarta posição no ranking mundial no setor de cuidados com o cabelo, totalizando 4,494 bilhões de dólares. Os Estados Unidos lideram o consumo com U\$13,667 bilhões (COSMETICINNOVARION, 2021).

2.6.4. Hastes flexíveis com ponta de algodão

Em 1992, o polonês naturalizado americano, Leo Gersternzang, observou que sua esposa usava um palito de dentes com algodão nas pontas para limpar as orelhas de sua filha ainda bebê. Dessa forma, surgiu a ideia de fazer um produto mais seguro, comercializável com hastes flexíveis (HOBSON, 2005).

Entretanto, a segurança do produto foi questionável. As primeiras preocupações médicas acerca do uso de hastes flexíveis surgiram em 1972 com casos de perfuração de tímpano e otites. Assim, as companhias que produziam as hastes começaram a auxiliar o uso delas apenas no canal externo do ouvido (HOBSON, 2005).

Atualmente, as hastes flexíveis são feitos de polietileno e algodão. As hastes são enquadradas em “plástico de uso único” e têm efeitos negativos para o meio ambiente. Por isso, existem algumas ações adotadas por governos como as descritas

por HERBERZ (2020). A União Europeia visa introduzir uma restrição de mercado para diversos itens de plástico de uso único, devido às 27 mil toneladas de plástico que são depositadas todo ano nos oceanos devido ao material de pesca e materiais descartáveis (HERBERZ, 2020).

Esse segmento de mercado é avaliado em unidades e, em 2017, o mercado global registrou o faturamento de 543,75 bilhões de unidades, com um crescimento de 3.4% (RESEARCH AND MARKETS, 2018).

2.6.5. Absorvente higiênico

Algumas fontes reportam o uso de absorventes internos por mulheres desde o século 15 a.C., no Egito, feitos de papiro. Outros materiais utilizados eram lã, pelos romanos, papel no Japão, fibras vegetais na Indonésia e esponjas na África equatorial (WEISSFELD, 2010). Segundo a médica Sara Read (2008), esses estudos que discutiram a questão da proteção sanitária em relatos históricos geralmente afirmam que as mulheres usaram almofadas de linho ou panos para absorver seu fluxo menstrual. Essas alegações são, frequentemente, extrapolando práticas adotadas até o século XX para o início da era moderna.

Read (2008), cita alguns autores e suas falas de que as mulheres usavam toalhas de linho ou almofadas de pano. Apesar de serem estudos plausíveis, e, de fato, ilustrar métodos utilizados, não abrangem uma totalidade da população que, na maioria das vezes, não usava nada a não ser as próprias roupas e depois as lavavam (READ, 2008).

Assim, não há um nome que leve os créditos para a invenção de absorventes. Mas, foi já no fim do século XIX que começaram estudos para o desenvolvimento de absorventes descartáveis na Alemanha. Estes foram vistos pela primeira vez no mercado em 1890 e era uma espécie de bandagem colocada sobre a calcinha. Mais tarde, em 1930, chegou ao Brasil o “Modess”, o primeiro absorvente descartável a ser comercializado no país. (MUNDO ESTRANHO, 2021)

O que se pode concluir é que as mulheres lidam com o período menstrual de diferentes jeitos ao longo da história, de acordo com Hait (2019). E, nos últimos séculos, o absorvente higiênico foi o produto mais utilizado e vendido. Os absorventes

internos, em um primeiro momento, não tiveram grande impacto no mercado consumidor por uma questão de tabu. Mas, nas décadas de 1960 e 1970 começaram a ser comercializados em grande escala. Assim, mudanças culturais impactam diretamente os produtos relacionados com a higiene feminina (HAIT, 2019).

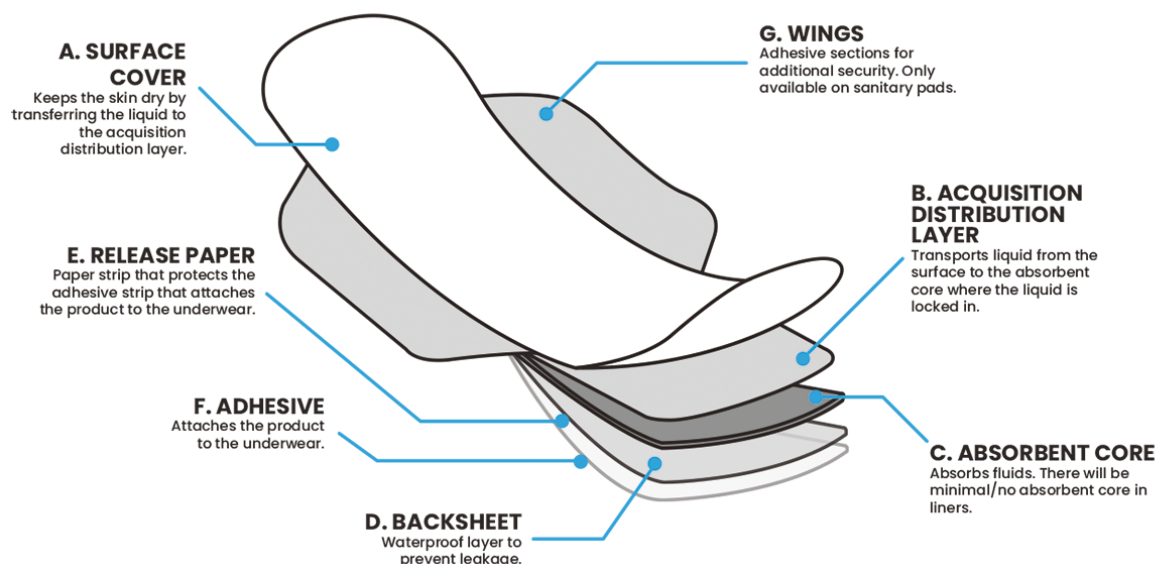
Essas mudanças também se relacionam com a preocupação acerca da sustentabilidade, visto que os absorventes, atualmente, são reconhecidos pelo seu impacto ambiental. Isso acontece porque grande parte da matéria prima de um absorvente é polimérica (plástico), ou seja, produzida a partir do petróleo. Além disso, outros impactos e emissões de poluentes ocorrem ao longo da vida do produto, como na aquisição de matéria-prima, no processamento do material, na embalagem e na distribuição. Os absorventes higiênicos são descartados no lixo comum mas, acontece de serem depositados, erroneamente, em vasos sanitários, gerando problemas não só ambientais mas também físicos e mecânicos para a rede de esgoto (HAIT, 2019).

Pensando em dados numéricos, cada ciclo menstrual varia de 3 a 7 dias. Considerando uma média de 4 absorventes por dia, chega-se ao número de 12 a 28 absorventes por ciclo. Levando em conta que, já em 2017, no Brasil, a população era de cerca de 208 milhões de habitantes sendo que 30,1% desse montante eram mulheres entre seus 15 e 55 anos de idade (IBGE), estima-se um número de 62,5 milhões de mulheres que menstruam. Junto com os cálculos citados acima e assumindo a hipótese de que todas as brasileiras usassem absorventes externos, o resultado seria 15 bilhões de unidades do produto ao ano sendo descartados, o que chama bastante atenção do ponto de vista ambiental. Considerando valores individuais para um ciclo médio de 5 dias, chega-se ao resultado de 240 absorventes por pessoa que menstrua por ano.

Atualmente, já existem alternativas aos absorventes descartáveis como o coletor menstrual. Segundo Zanola et al. (2018), os primeiros coletores, também chamados de copos menstruais, foram desenvolvidos nos anos 1930. Entretanto, apesar da data não ser recente, o uso do produto nunca chegou a ser generalizado como o dos absorventes descartáveis (ZANOLA et al., 2018). Na última década, é uma tendência que vem crescendo, mas ainda não convence a todas as mulheres, principalmente as mais velhas. E, sendo assim, o desafio de ter um produto acessível,

com menores impactos ambientais e sendo a escolha principal do consumidor continua.

Figura 12: Esquema das camadas presentes no absorvente higiênico. (A) Cobertura de superfície. (B) Camada de aquisição e distribuição. (C) Centro absorvente. (D) Camada traseira. (E) Fita de papel. (F) Adesivo. (G) Abas.



Fonte: (AHPMA, 2021)

O mercado de absorventes higiênicos apresentou um crescimento de 2,64% entre 2015 e 2020 com um faturamento de 3,085 bilhões de reais, um aumento de 2,68% em relação a 2019 (MARKET RESEARCH, 2021). Em âmbito global, o faturamento foi de 23,63 bilhões de dólares em 2020 (IMARC, 2021).

2.6.6. Curativos adesivos

Earl Dickson, em 1920, criou o curativo adesivo (*band-aid*), nos Estados Unidos, para sanar um problema de sua esposa que se cortava com frequência enquanto cozinhava. A ideia era fazer algo simples que ela pudesse aplicar sozinha (JOHNSON & JOHNSON, 2021).

Entretanto, o produto não foi um sucesso instantâneo, mas ganhou relevância quatro anos mais tarde, quando a empresa em que Earl trabalhava criou uma máquina capaz de fabricar curativos já esterilizados. A 2ª guerra mundial impulsionou a popularidade do produto porque este foi enviado para soldados norte-americanos ampliando o conhecimento. Nesse período de, aproximadamente, 100 anos, a

empresa Johnson & Johnson diz ter vendido cerca de 100 bilhões de band-aids para o mundo inteiro (MUNDO ESTRANHO, 2021).

Assim como nas hastes flexíveis, o plástico empregado nos curativos adesivos são de uso único. A própria embalagem recomenda que haja uma troca para que não acumule bactérias.

O mercado global de curativos adesivos tem previsão de crescimento de mercado no período de 2021 a 2025, com um índice de 3,6%, podendo passar dos 2.325,4 milhões de dólares de 2020 para 2.682,5 milhões de dólares em 2025 (MARKET WATCH, 2021).

3. METODOLOGIA

A fim de atingir os objetivos propostos de discutir projetos ambientalmente mais corretos para produtos de higiene, junto com o questionamento do papel da educação na conscientização ambiental, uma série de estratégias serão empregadas.

Primeiramente, os produtos serão selecionados e se utilizará a ferramenta *Eco Audit* Tool do software CES EduPack (Granta Design). Como abordado na revisão bibliográfica, a *Eco Audit* permite uma análise rápida e simplificada por meio da mensuração de dois indicadores de impacto ambiental: pegada de gás carbônico e gasto energético. As entradas no software devem ser os materiais utilizados em cada produto assim como a proporção mássica, o processo de fabricação e sua destinação final.

Para complementar e dar maior propriedade para a discussão acerca do comportamento do consumidor junto com o papel da educação na conscientização ambiental, alunos dos cursos de Engenharia de Materiais e Metalurgia da Escola Politécnica da USP serão envolvidos de forma a ser detalhada mais tarde.

3.1. Seleção dos produtos

Para o presente trabalho, foram considerados produtos do cotidiano, buscando trazer a temática de impacto ambiental para a rotina da população. Assim, será possível explorar escolhas recorrentes de consumidores, buscando entender quais os critérios adotados para aquisição.

Dessa forma, a fim de focar a segmentação de indústria, restringiu-se o foco a itens de higiene sendo os produtos selecionados para estudo:

- A. Escova de dentes
- B. Fio dental
- C. Xampu
- D. Hastes flexíveis com ponta de algodão
- E. Absorvente higiênico
- F. Curativos adesivo

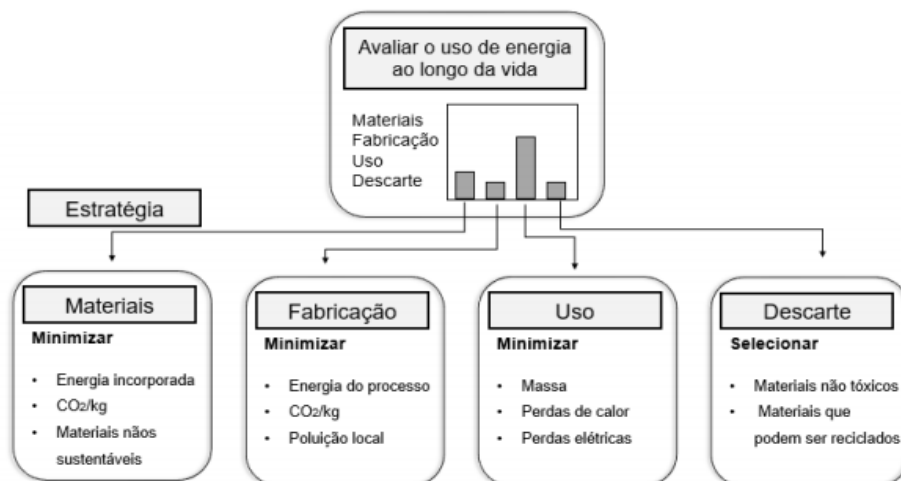
3.2. Software CES EduPack

O software CED Edu Pack foi desenvolvido pelo Professor Mike Ashby em conjunto com outros professores do departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Cambridge. O programa é uma ferramenta educacional empregada, principalmente, em cursos de graduação que tratam o tema de seleção e também avaliação de desempenho de materiais. Há ainda a disponibilidade de uma base de dados, o que permite o estudo de casos industriais reais (ASHBY, 2020).

Além da base de dados acerca dos materiais de engenharia, o software apresenta a ferramenta de auditoria ambiental (Eco Audit Tool). As simplificações adotadas auxiliam o usuário a explorar as possibilidades que o programa oferece. Primeiramente, tem-se que escolher as matérias-primas, o processo de fabricação primário, massas, quantidade, tipo de descarte final, tipo e distância de transporte e também a matriz energética considerando a fase de uso (GIACON, 2018).

Assim, conforme as informações que forem digitadas pelo usuário, obtém-se o resultado estimado de gasto energético e de pegada de carbono. Através de gráficos e tabelas, a ferramenta mostra os impactos em cada fase do ciclo de vida do produto, permitindo que seja fácil a identificação da chamada fase predominante. A partir dessa conclusão, provoca-se ideias relacionadas ao *ecodesign*, como, por exemplo, se a troca de um dos componentes geraria uma redução de impacto (ASHBY et al., 2012; GIACON, 2018).

Figura 13: Esquema simplificado dos dados de saída do EduPack com as fases material, fabricação, uso e descarte.



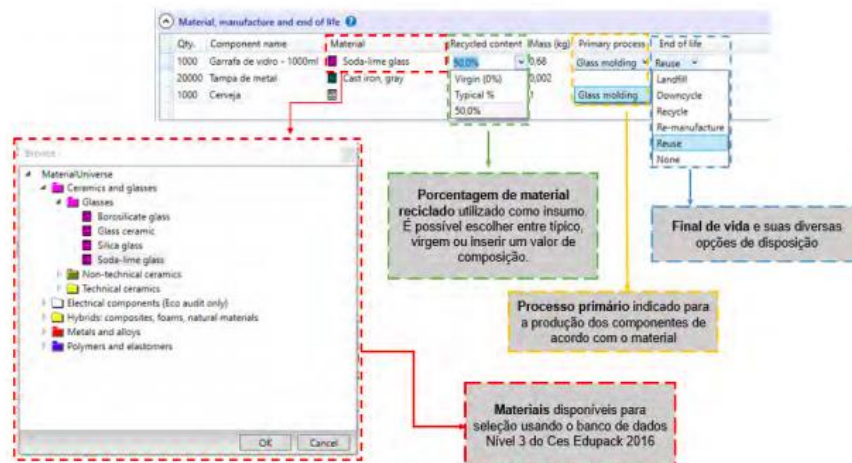
Fonte: (GIACON, 2018)

3.2.1. Entradas

As entradas do software são divididas em áreas sobre o material, transporte e uso. Na Figura 14, é possível identificar as entradas envolvendo material que consistem no nome do componente, no material utilizado, na porcentagem de material reciclado, a massa respectiva, processo primário de fabricação e final de vida.

Para final de vida, algumas opções estão disponíveis em formato de lista suspensa no software: Aterro sanitário (sem nenhum benefício de recuperação energética); incineração (há a recuperação energética, porém com a liberação de gases como o CO₂); *downcycle* (reprocessamento do material, mas tem resultado e aplicação diversos em comparação à função original); reciclagem (reprocessamento do material com um resultado muito próximo se utilizado o material virgem, não há recuperação energética); reprocessamento (componentes são recuperados e reutilizados como substitutos em outro produto); reuso (extensão da vida útil de um produto, havendo saldo positivo na emissão de gás carbônico) e nenhum (não há uma destinação específica) (GIACON, 2018).

Figura 14: Imagem do software mostrando as entradas da ferramenta de auditoria ambiental do software.



Fonte: (GIACON, 2018)

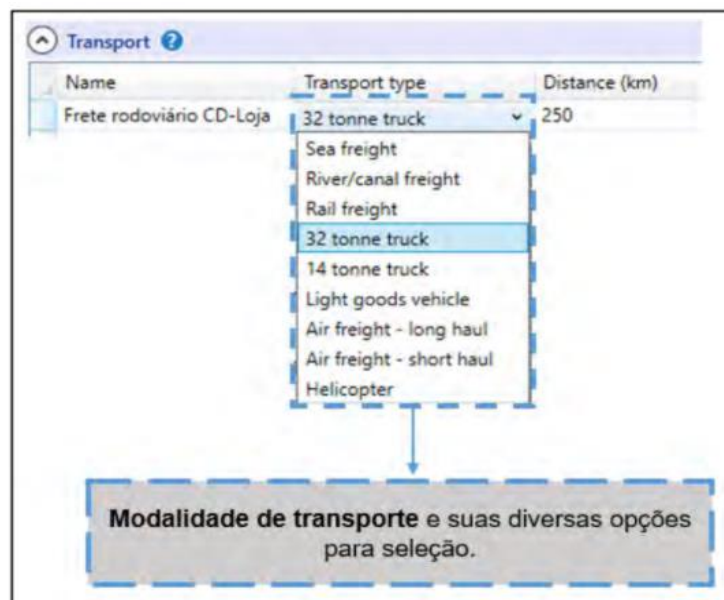
Para a fase de transporte, é possível inserir dados referentes ao deslocamento do produto. Pode-se seleccionar mais de um tipo de transporte e registrar a distância percorrida por cada um. As modalidades de transporte disponíveis são: frete marítimo, frete fluvial, frete ferroviário, rodoviário com caminhão de 32 toneladas, rodoviário com

caminhão de 14 toneladas, veículos urbanos, frete aéreo de longa distância, frete aéreo de curta distância ou helicóptero.

Vale ressaltar que o software usa o mesmo tipo de transporte para todos os componentes do produto em questão, não sendo possível entrar no detalhe de cada um deles. Além disso, o tipo de combustível utilizado não é uma entrada variável.

Por fim, o software permite que se acrescentem alguns detalhes da fase de uso do produto que pode ser dividida entre produtos estáticos e dinâmicos. Os estáticos precisam de energia para funcionar (como uma geladeira) e os dinâmicos (veículos, por exemplo) precisam de combustível. No caso do presente trabalho, essa fase não tem influência uma vez que o uso dos produtos elencados não necessita de nenhuma fonte energética para uso.

Figura 15: Tela do software mostrando as possíveis modalidades de transporte.



Fonte: (GIACON, 2018)

3.2.2. Materiais

Na entrada dos dados referente aos materiais, há a possibilidade de inserir, para cada componente do produto, os seguintes dados: *Quantidade*, *nome*, *material* (dentro da base de dados disponível), *porcentagem de material reciclado*, *massa*, *processo primário* e *descarte*. Vale a observação de que para o caso de uma auditoria

ambiental, é necessário colocar os componentes referentes a, pelo menos, 95% da massa do produto (ASHBY et al., 2012 ; GIACON, 2018).

3.2.2.1. Consumo anual

Buscando estabelecer uma mesma base para o uso de cada produto, foi elaborada uma estimativa anual levando em consideração hábitos de consumo brasileiros assim como recomendações das embalagens.

Primeiro, foi adotada a hipótese de uma população de 1 milhão de habitantes, dos quais 51,4% são mulheres - seguindo proporção IBGE (2019), de faixa-etária de 15 a 50 anos e que possuem hábitos reportados na Tabela 2. Além disso, para cada produto foram consideradas as seguintes composições de embalagens:

- **Fio dental:** Embalagem com 50m de produto.
- **Hastes flexíveis:** Embalagem com 150 unidades.
- **Escova de dentes:** Embalagem com 4 unidades.
- **Xampu:** Embalagem com 400 mL.
- **Absorventes higiênicos:** Embalagem com 8 unidades.
- **Curativos adesivos:** Embalagem com 10 unidades.

Tabela 2: Estimativa de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes.

| Produto | Hipóteses assumidas | Consumo anual por pessoa | Consumo anual população 1M | # Produtos por ano |
|--------------------|--|--------------------------|----------------------------|--------------------|
| Fio dental | Adotando uso de 40cm, considerando uso de 1x ao dia. | 146 m | 146.000.000 m | 2.920.000 |
| Hastes flexíveis | Uso de 3x por semana (2 unidades por uso). | 312 u | 312.000.000 u | 2.080.000 |
| Escova de dentes | Troca a cada 3 meses. | 4 u | 4.000.000 u | 1.000.000 |
| Xampu | Um frasco de 400mL por mês. | 4800 mL | 4.800.000 L | 12.000.000 |
| Absorvente | Período menstrual médio de 5 dias por mês. Uso de 4 absorventes por dia. | 240 u | 240.000.000 u | 30.000.000 |
| Curativos adesivos | Uso de 2 unidades por mês | 24 u | 24.000.000 u | 2.400.000 |

Tabela 3: Massa obtida para cada um dos produtos e cálculo em kg do consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes.

| Produto | Massa de uma embalagem (g) | Massa consumo anual pop. 1M (Kg) |
|--------------------|-----------------------------------|---|
| Fio dental | 18 | 52.560 |
| Hastes flexíveis | 50 | 104.000 |
| Escova de Dentes | 74 | 74.000 |
| Xampu | 41 | 492.000 |
| Absorvente | 54 | 1.620.000 |
| Curativos adesivos | 10 | 24.000 |

Em seguida, os produtos foram pesados e, a partir da massa dos componentes, calculou-se a massa equivalente anual por pessoa e para a população de 1 milhão de habitantes adotada. Além disso, foi feita uma pesquisa acerca dos materiais utilizados para cada parte do produto, assim como o processo de fabricação. Entretanto, algumas simplificações precisaram ser adotadas no caso do absorvente higiênico e do curativo adesivo. Isso porque não são divulgados exatamente quais os materiais que compõem estes produtos e a verificação da massa de cada uma das camadas não seria precisa. Uma vez que na literatura, encontra-se que é preciso apenas 95% da composição de um produto para que a auditoria ambiental faça sentido, as simplificações atendem o requisito.

Tabela 4: Dados de entrada de massa no software por componente. A coluna “entrada” diz respeito ao consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes conforme hábitos explicitados na tabela 2.

| Produto | Componentes | M (g) | % | Entrada (kg) |
|-------------------------|---|-----------|----------------|------------------|
| Fio dental | Inteiro | 18 | 100,00% | 52.560 |
| Fio dental | Embalagem externa | 3 | 16,67% | 8.762 |
| Fio dental | Embalagem plástica interna | 6 | 33,33% | 17.518 |
| Fio dental | Parte interna plástica + dente alumínio | 2 | 11,11% | 5.839 |
| Fio dental | Filamento + plástico meio | 7 | 38,89% | 20.441 |
| BAND-AID | Inteiro | 10 | 100,00% | 24.000 |
| BAND-AID | Embalagem externa | 4 | 40,00% | 9.600 |
| BAND-AID | 10 BAND-AIDS abertos | 2 | 20,00% | 4.800 |
| BAND-AID | Embalagem Interna | 4 | 40,00% | 9.600 |
| Cotonete | Inteiro | 50 | 100,00% | 104.000 |
| Cotonete | Embalagem externa | 5 | 10,00% | 10.400 |
| Cotonete | 150 hastes | 30 | 60,00% | 62.400 |
| Cotonete | Algodão | 15 | 30,00% | 31.200 |
| Escova de Dentes | Inteiro | 74 | 100,00% | 74.000 |
| Escova de Dentes | 4 escovas | 62 | 83,78% | 62.000 |
| Escova de Dentes | Embalagem externa | 12 | 16,22% | 12.000 |
| Escova de Dentes | Elastômero | 8 | 10,81% | 8.000 |
| Escova de Dentes | Cerdas | 4 | 5,41% | 4.000 |
| Escova de Dentes | Cabo | 50 | 67,57% | 50.000 |
| Xampu | Inteiro | 41 | 100,00% | 492.000 |
| Xampu | Tampa | 9 | 21,95% | 107.994 |
| Xampu | Embalagem | 32 | 78,05% | 384.006 |
| Absorvente | Inteiro | 54 | 100,00% | 1.620.000 |
| Absorvente | Embalagem externa | 1 | 1,85% | 30.000 |
| Absorvente | Plástico 8 unidades | 5 | 9,26% | 150.000 |
| Absorvente | Absorventes sem plástico individual | 48 | 88,89% | 1.440.000 |

Dessa forma, foi possível obter as massas, os materiais e os processos que serviriam de entrada para o software. Assim, três possíveis cenários foram construídos para fins de comparação. O primeiro, levando em consideração 100% do material virgem e o segundo e terceiro 100% de material reciclado. Para o transporte, adotou-se uma distância padrão de 350 km e um caminhão de pequeno porte para todos os produtos.

Quanto à destinação final, no primeiro e segundo cenário, o fim de vida comum para todos os componentes foi o aterro. Já no terceiro cenário, foi adotado o melhor cenário para cada um dos produtos. De forma geral, todas as embalagens externas foram consideradas para reciclagem. Para a escova de dentes, adotou-se que o cabo

seria reutilizado enquanto que as cerdas iriam para aterro. No caso do fio dental, a caixinha seria reutilizada e o fio destinado para aterro. A embalagem de xampu seria reciclada assim como as hastes das hastes flexíveis e o algodão destas iria para aterro. No caso dos absorventes higiênicos e dos curativos adesivos, as partes não recicláveis se destinariam também para o aterro sanitário.

Essa configuração de destinação final apresentada no cenário 3 foi utilizada a partir de hipóteses pensando em opções com menor geração de resíduos para os produtos do cotidiano.

3.3. Educação ambiental

Além da metodologia descrita até aqui, foi realizado um estudo prático envolvendo a turma de alunos da disciplina de Seleção de Materiais 2021 (PMT 3414) do Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais.

3.3.1. Grupo focal

A fim de entender sobre perfil de consumo dos alunos e iniciar a investigação acerca da influência da educação na conscientização ambiental, foi utilizada a técnica de grupo focal.

Grupo focal (*focus group*) é um grupo de indivíduos selecionados por pesquisadores para discutir e comentar, sob sua perspectiva pessoal, um tema em questão, porém não respondendo diretamente à dúvida chave. Como técnica de pesquisa, esse método emprega discussão interativa guiada como meio de gerar detalhes mais ricos e capturar espontaneamente as opiniões e hábitos dos participantes. Essa técnica é muito utilizada pelas áreas de marketing que buscam reações para lançamentos (POWELL, SINGLE, 2009).

A presença do moderador é importante, mas não obrigatória. Neste trabalho, a autora assumiu o papel de moderadora e propôs perguntas sobre critérios de compra e hábitos de consumo na sessão que teve, aproximadamente, 1 hora de duração. O objetivo final foi entender a consciência ambiental ao comprar produtos de higiene pessoal, porém sem colocar isso diretamente nas questões.

Primeiramente, foram abordados critérios para compra assim como frequência, meio, local e preferências. Depois da discussão inicial, o ponto de modo de descarte foi inserido. Assim, foi possível entender o ciclo de vida do produto aos olhos de consumidores na prática, sem que estivessem direcionados para a questão ambiental, deixando que o ponto surgisse ocasionalmente ou não nas falas dos participantes.

3.3.2. Organização dos alunos

A disciplina PMT 3414 Seleção de materiais é de 3 créditos aula, o que se traduz em 2 horas e meia por semana ao longo do semestre. Ao todo, são 15 aulas das quais 4 são voltadas para introdução do tema de ciclo de vida e também para

ecodesign. Ao longo do curso de engenharia de materiais, é a primeira matéria que aborda o assunto com os estudantes e, a não ser que o aluno opte por realizar o módulo de especialização em outra engenharia, será a única.

As duas turmas são compostas por cerca de 50 alunos que foram separados em duplas para realizar a entrega de dois trabalhos. Dessas duplas, 6 foram selecionadas, voluntariamente, para que, ao longo do semestre, faça as entregas tendo como tema um dos produtos aqui estudados. O primeiro projeto consiste na seleção de materiais a partir de restrições e objetivos determinados e o segundo no uso da ferramenta de *eco audit*, discutindo o impacto de emissão de CO₂ durante o ciclo de vida do produto e buscando alternativas mais ambientalmente corretas. A proposta dessa segunda atividade será avaliar os produtos que fazem parte do portfólio definido e propor versões mais sustentáveis para eles.

Os produtos foram distribuídos entre os estudantes por critério de escolha. Em paralelo às aulas e, juntamente com os alunos, foram definidos objetivos mais específicos em relação ao projeto, levando em consideração o *ecodesign* e as questões técnicas. Entretanto, além disso, os alunos terão que trazer uma visão de mercado, se colocando como consumidor.

Como forma de avaliar o desempenho dos alunos, previamente a cada apresentação, houve uma reunião de trabalho com cada dupla para entender as dificuldades, os pontos fortes e os pontos fracos da alternativa discutida e buscar melhorias. Depois de cada apresentação, foram entregues os projetos com dados padronizados. Assim, será possível realizar uma análise crítica dos dados de entrada e de saída apresentados, buscando entender se o objetivo foi atendido com alternativas com menores danos ambientais, além da viabilidade da proposta.

Usando tanto a revisão bibliográfica como o desenvolvimento do projeto como base, serão feitas discussões ao redor da interação entre o produto, o consumidor e a legislação. Outro ponto fundamental a ser observado será a importância da educação na consciência ambiental e se isso, de forma independente, é capaz de transformar o indivíduo como consumidor.

4. RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados provenientes da utilização da ferramenta de *Eco Audit* do software EduPack assim como os resultados obtidos da interação com os alunos.

Aqui, pode-se fazer uma comparação com a fase de avaliação de impacto da ACV, ou seja, de processamento de dados que são convertidos em valores equivalentes de impacto ambiental. Para este estudo, adotou-se como unidade comum de análise dos dados quilos de gás carbônico.

4.1. Eco auditoria dos produtos

A partir da ferramenta *Eco Audit* do software CES EduPack 2018 foi possível determinar, para cada um dos produtos escolhidos (escova de dente, fio dental, xampu, hastes flexíveis, absorvente higiênico e curativo adesivo) a pegada de carbono ao longo do seu ciclo de vida. As fases consideradas são de material, manufatura, transporte e uso. Além disso, uma saída é o potencial de final de vida dependendo da composição do material e destinação selecionada.

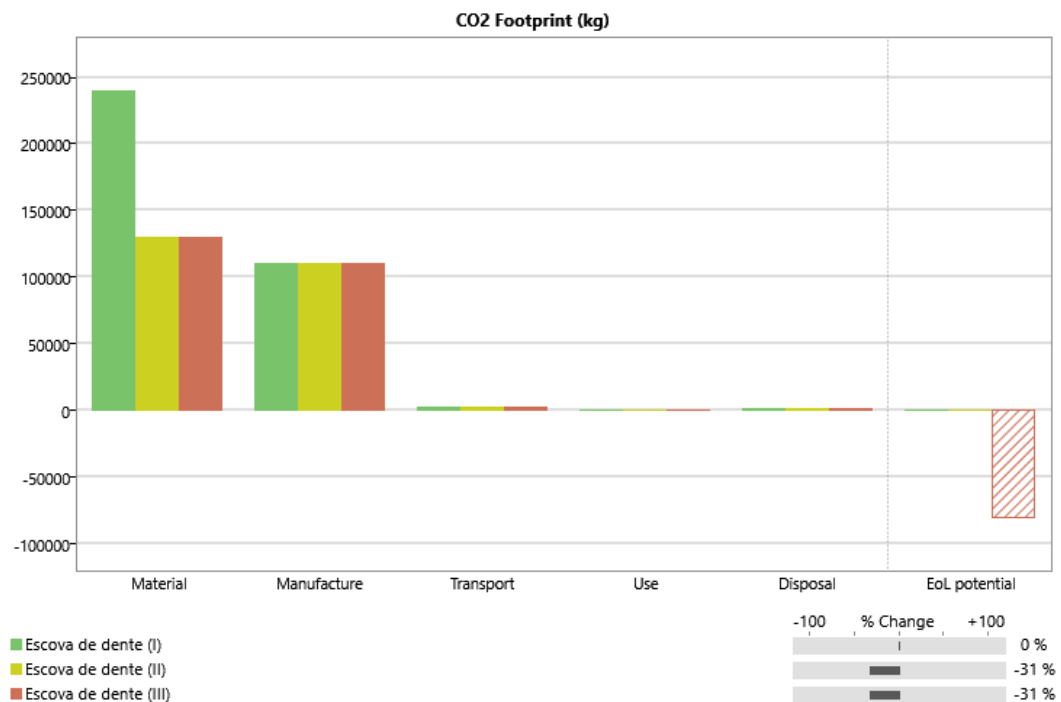
Depois de estruturados os três diferentes cenários para cada um dos produtos, obteve-se como saída gráficos de comparação de emissão de gás carbônico. Além disso, foram gerados relatórios separadamente para cada produto e cenário com dados mais específicos de cada fase.

4.1.1. Eco auditoria da escova de dentes

Os dados da pegada de gás carbônico obtidos via software CES EduPack em relação aos três cenários para a escova de dentes serão apresentados no gráfico e tabelas a seguir.

O primeiro cenário (escova de dentes (I)) considera que toda a matéria prima é virgem e que a destinação final é o aterro. O segundo cenário (escova de dentes (II)) considera que a matéria prima da embalagem externa e cabo da escova são feitos de materiais 100% reciclados, enquanto as cerdas e o elastômero são de fonte primária. O destino final de todos os componentes é o aterro. E, por fim, o terceiro cenário (escova de dentes (III)) segue a estrutura de matéria prima do segundo cenário, mas adota a hipótese de que o cabo da escova seja reutilizado, a embalagem externa seja destinada para reciclagem e haja a troca das cerdas, estas junto com o elastômero sendo destinados ao aterro.

Figura 16: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para a escova de dente. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que quando se adotam uso de materiais reciclados, ela se aproxima da fase de manufatura. No caso da escova de dentes (III), há potencial de fim de vida devido ao reuso do cabo como forma de disposição adotada.



O gráfico da Figura 16 mostra a pegada de CO₂ em quilogramas de cada uma das fases do produto: Material, manufatura, transporte, uso e destinação final. Além disso, para determinadas destinações, o programa apresenta um cálculo de uma

potencial pegada de CO₂ do final de vida. No caso de incineração, por exemplo, esse número é positivo pois haveria a emissão de gás carbônico, enquanto que, no reuso, o número é negativo, considerando que deixa-se de emitir CO₂ ao se reutilizar um componente, semelhante a crédito carbono.

No caso da escova de dente, apenas o terceiro cenário apresenta potencial de fim de vida, uma vez que o cabo é destinado ao reuso. Os componentes que são destinados ao aterro não apresentam valor para essa métrica uma vez que não se considera que este tipo de descarte evite que haja emissão. O mesmo acontece quando se escolhe a reciclagem como destino final, porque, por se tratar de um processo, também emite gás carbônico já contabilizado na fase de disposição.

Tabela 5: Comparação entre os três cenários de escova de dentes para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO₂. Percebe-se que a escova de dentes (III) é melhor em termos de emissão de carbono além de apresentar um potencial de fim de vida devido a escolha de reuso para o cabo. A escova de dentes (II) é melhor que a escova de dentes (I) devido ao uso de materiais 100% reciclados.

| Produto | Escova de dente (I) | | Escova de dente (II) | | Escova de dente (III) | |
|--------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
| Fase | Pegada de CO2 (t) | Pegada de CO2 (%) | Pegada de CO2 (t) | Pegada de CO2 (%) | Pegada de CO2 (t) | Pegada de CO2 (%) |
| Material | 240 | 67,9% | 130 | 53,3% | 130 | 53,2% |
| Manufatura | 110 | 31,0% | 110 | 45,1% | 110 | 45,0% |
| Transporte | 3 | 0,8% | 2,8 | 1,1% | 2,8 | 1,1% |
| Uso | - | - | - | - | - | - |
| Disposição | 1 | 0,3% | 1 | 0,4% | 1 | 0,6% |
| Total primeira vida | 354 | 100,0% | 244 | 100,0% | 244 | 100,0% |
| Potencial de fim de vida | - | - | - | - | -81 | - |
| Total | 354 | - | 244 | - | 163 | - |

A Tabela 5 traz os dados consolidados de emissão de gás carbônico para os três cenários apresentados. Pode-se observar, tanto no gráfico como na tabela, que para todos eles as fases predominantes são a de material e manufatura correspondendo a 98,9%, 98,4% e 98,2% respectivamente para a escova de dentes (I), (II) e (III). O segundo e terceiro caso, por serem constituídos, parcialmente, de material reciclado, apresentam redução da pegada de CO₂ na fase material. E, apesar desta seguir sendo a predominante entre as fases, a Figura 16 mostra que há uma aproximação da fase de manufatura. As demais fases não apresentam variações significativas.

Olhando para penúltima linha da Tabela 5, apenas a escova de dentes (III) apresenta valor para potencial de fim de vida, uma vez que foi considerado reuso para o cabo, o que gera 81 toneladas de crédito de carbono (motivo pelo qual o número está negativo e ajuda na redução da pegada total do produto). Assim,

comparando a pegada de CO₂ total de cada um dos produtos, a escova de dentes (I) é a que apresenta maior valor sendo de 354 t enquanto que a escova de dentes (III) tem o menor valor de 163 t, o que equivale a 46% da emissão da escova de dente (I), ou seja, deixa-se de emitir 191 t de CO₂. Lembrando que os dados de entrada foram calculados considerando o consumo de uma população de 1 milhão de habitantes durante 1 ano, ao adotarmos a opção (III), haveria uma economia anual de 0,2 kg de CO₂ por pessoa anualmente.

Se considerarmos a escova de dentes (II), com parte dos componentes reciclados e a destinação final é aterro para todos, a pegada também é, significativamente, reduzida, passando para 244 t, o que representa 69% da emissão da escova de dentes (I) e a economia de 110 t de CO₂ ou 0,1 kg de CO₂ por pessoa anualmente.

Tabela 6: Detalhamento da fase material da escova de dentes (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o componente crítico é o cabo, responsável por 61% das emissões.

| Component | Material | Recycled content* (%) | Part mass (kg) | Qty. | Total mass (kg) | CO2 footprint (kg) | % |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|------|-----------------|--------------------|------|
| Embalagem externa | Polyethylene terephthalate (PET) | Virgin (0%) | 1,2e+04 | 1 | 1,2e+04 | 3,3e+04 | 13,6 |
| Cerdas | Polyamides (Nylons, PA) | Virgin (0%) | 4e+03 | 1 | 4e+03 | 3e+04 | 12,7 |
| Detalhe | Polyisoprene rubber (IIR) | Virgin (0%) | 8e+03 | 1 | 8e+03 | 3,1e+04 | 13,0 |
| Cabo | Polypropylene (PP) | Virgin (0%) | 5e+04 | 1 | 5e+04 | 1,5e+05 | 60,6 |
| Total | | | | 4 | 7,4e+04 | 2,4e+05 | 100 |

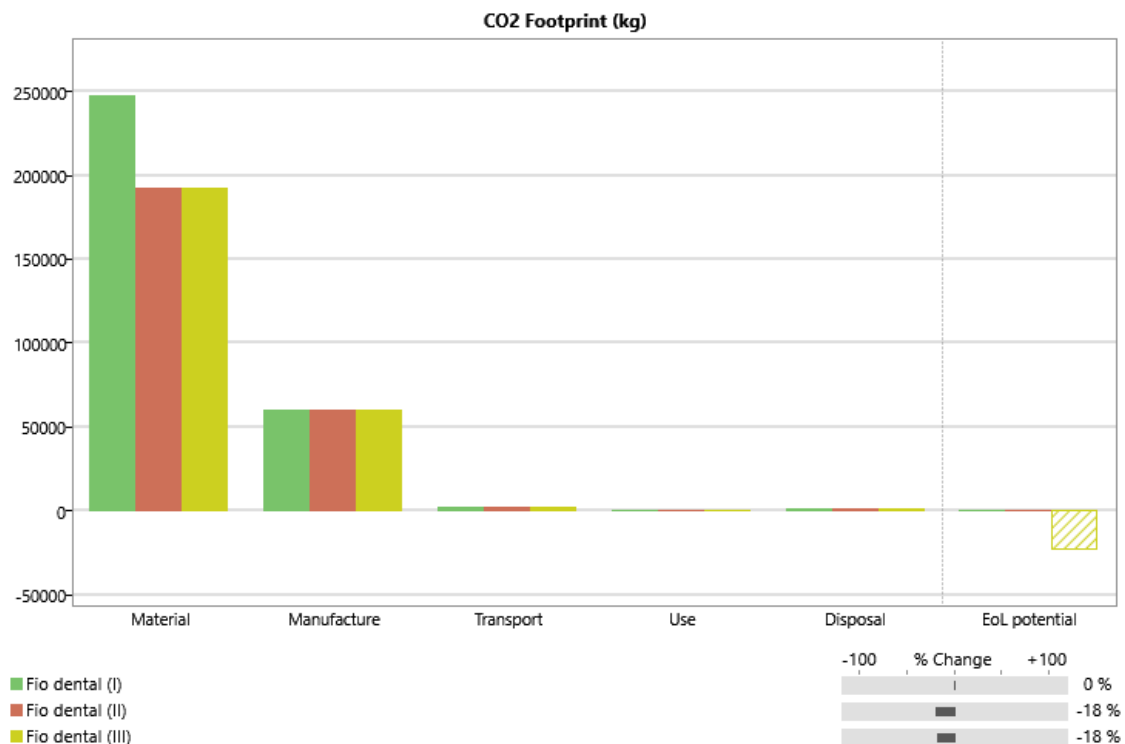
A Tabela 6 mostra detalhes da fase material da escova de dentes (I) e traz que o cabo, feito de polipropileno, tem o maior peso entre os materiais utilizados, equivalente a 60,6% da pegada de carbono dessa fase. Assim, além da fase crítica, é possível definir o componente crítico que, neste caso, é o cabo. A escova de dentes (III) se torna mais interessante ainda porque adota-se que o cabo será reutilizado, o que resolve, em termos, o ponto crucial da fase material.

4.1.2. Eco auditoria do fio dental

Os dados da pegada de gás carbônico obtidos via software CES EduPack em relação aos três cenários para o fio dental serão apresentados no gráfico e tabelas a seguir.

O primeiro cenário (Fio dental (I)) considera que toda a matéria prima é virgem e que a destinação final é o aterro. O segundo cenário (Fio dental (II)) considera que a matéria prima da embalagem externa e da caixinha são feitos de materiais 100% reciclados, enquanto que o fio propriamente dito (feito de nylon) é de fonte primária. O destino final de todos os componentes é o aterro. E, por fim, o terceiro cenário (Fio dental (III)) segue a estrutura de matéria prima do segundo cenário, mas adota a hipótese de que a caixinha do fio dental seja reutilizada, a embalagem externa seja destinada para reciclagem e haja a troca do fio dental, que é destinado ao aterro.

Figura 17: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para o fio dental. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que há redução nos cenários do fio dental (II) e (III) quando adota-se materiais reciclados. No caso do fio dental (III), há potencial de fim de vida devido ao reuso da caixinha como forma de disposição adotada.



O gráfico da Figura 17 mostra a pegada de CO₂ em quilogramas de cada uma das fases do fio dental: Material, manufatura, transporte, uso e destinação final. Além disso, para determinadas destinações, o programa apresenta um cálculo de uma

potencial pegada de CO₂ do final de vida. No caso do fio dental, apenas o terceiro cenário apresenta potencial de fim de vida, uma vez que a caixinha é destinada ao reuso.

Tabela 7: Comparação entre os três cenários de fio dental para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO₂. Percebe-se que o fio dental (III) é melhor em termos de emissão de carbono além de apresentar um potencial de fim de vida devido a escolha de reuso para a caixinha. O fio dental (II) é melhor que o fio dental (I) devido ao uso de materiais 100% reciclados.

| Produto | Fio dental (I) | | Fio dental (II) | | Fio dental (III) | |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Fase | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) |
| Material | 248 | 79,9% | 192 | 75,5% | 192 | 75,4% |
| Manufatura | 60 | 19,2% | 60 | 23,4% | 60 | 23,4% |
| Transporte | 2 | 0,6% | 2 | 0,8% | 2 | 0,8% |
| Uso | - | - | - | - | - | - |
| Disposição | 1 | 0,2% | 1 | 0,3% | 1 | 0,4% |
| Total primeira vida | 310 | 100,0% | 254 | 100,0% | 255 | 100,0% |
| Potencial de fim de vida | - | - | - | - | -23 | - |
| Total | 310 | - | 254 | - | 232 | - |

A Tabela 7 mostra os dados de pegada de CO₂ consolidados a fim de comparar os três tipos de produtos. Observando os dados acima, percebe-se que, assim como na escova de dente, a fase material tem a maior porcentagem de participação na emissão de CO₂ junto com a etapa manufatura. Estas fases representam 99,1%, 98,9% e 98,8% respectivamente para o fio dental (I), (II) e (III). Olhando o gráfico da Figura 17, nota-se que o cenários (II) e (III) se diferenciam do (I) na fase material. Isso acontece porque, para estes casos, foram considerados materiais reciclados para a caixinha e embalagem externa do fio dental. Sendo assim, o peso da fase material para o fio dental (II) e (III) é menor, mas ainda é predominante. As outras fases não apresentam grandes diferenças entre os cenários de escova de dente.

Como já citado, apenas o fio dental (III) possui valor para o potencial de fim de vida (-23 t CO₂) devido à consideração de que a caixinha seria reutilizada. Esse valor influencia no valor final da pegada de carbono, fazendo com que este cenário seja o de menor emissão entre os três. Enquanto o fio dental (I) com 100% dos materiais vindo de fonte primária e tendo como destinação final o aterro emite 310 t de CO₂, o fio dental (III) tem um total de 232 t de CO₂, ou seja 74,8% das emissões do produto (I). Esse número representa uma economia de 78 t de CO₂ ou o equivalente a compensação de plantar 216 árvores por ano. O fio dental (II) se difere do (I) somente pela fase material, não apresentando potencial de fim de vida, mas, ainda assim, tem uma diferença de 56 t de CO₂, representando 81,9% das emissões do fio dental (I).

Tabela 8: Detalhamento da fase material do fio dental (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o componente crítico é o próprio fio de nylon sendo responsável por 63% das emissões.

| Component | Material | Recycled content* (%) | Part mass (kg) | Qty. | Total mass (kg) | CO2 footprint (kg) | % |
|-------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|------|-----------------|--------------------|------|
| Embalagem externa | Polyethylene terephthalate (PET) | Virgin (0%) | 8,8e+03 | 1 | 8,8e+03 | 2,4e+04 | 9,6 |
| Embalagem (caixa) | Polypropylene (PP) | Virgin (0%) | 2,3e+04 | 1 | 2,3e+04 | 6,8e+04 | 27,5 |
| Fio | Polyamides (Nylons, PA) | Virgin (0%) | 2e+04 | 1 | 2e+04 | 1,6e+05 | 62,9 |
| Total | | | | 3 | 5,3e+04 | 2,5e+05 | 100 |

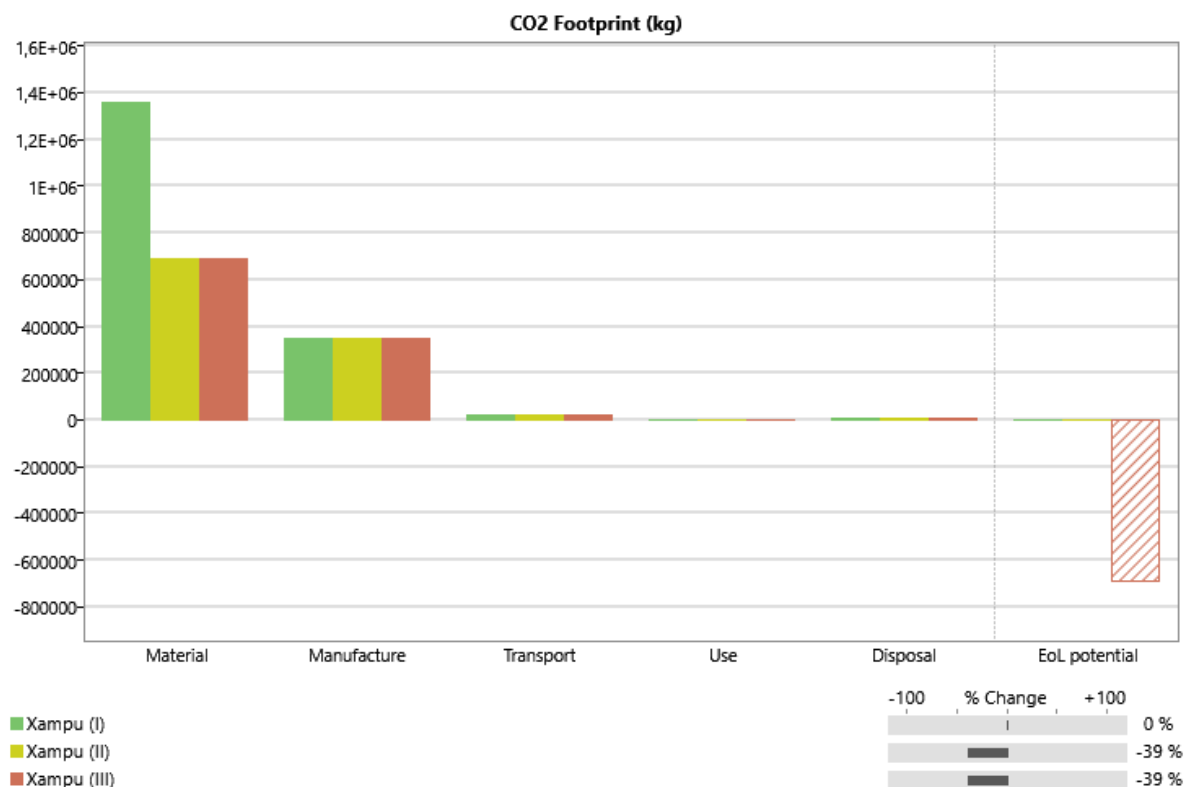
A Tabela 8 traz detalhes da fase crítica (material) do fio dental. Observa-se que o componente crítico é o próprio fio de nylon correspondendo a 63% das emissões de gás carbônico. Em segundo lugar, fica a caixinha sendo responsável por quase 30% das emissões. O fio dental (III) considera o reuso da caixinha, o que já resolveria em partes a criticidade da fase material. Porém, não foi adotada nenhuma alternativa para o fio propriamente dito, o que seria interessante pelo peso que as emissões desse componente têm. A embalagem externa, responsável pela emissão de 10% do CO₂ da fase material, tem sua necessidade questionável. Pouco tempo atrás, vários produtos de uso cotidiano possuíam essa embalagem adicional e, atualmente, abandonaram. É o caso de itens cosméticos, por exemplo, que, dependendo da marca, contam apenas com a embalagem fixa.

4.1.3. Eco auditoria do xampu

Os dados da pegada de gás carbônico obtidos via software CES EduPack em relação aos três cenários para a embalagem de xampu serão apresentados no gráfico e tabelas a seguir.

O primeiro cenário (Xampu (I)) considera que toda a matéria prima é virgem e que a destinação final é o aterro. O segundo cenário (Xampu (II)) considera que a matéria prima da garrafa e da tampa é de materiais 100% reciclados e o destino final de todos os componentes é o aterro. Já no terceiro cenário (Xampu (III)) segue a estrutura de matéria prima 100% reciclada, mas adota a hipótese de que o produto inteiro seria reutilizado.

Figura 18: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para o xampu. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que há redução bastante considerável nos cenários do xampu (II) e (III) quando adota-se materiais reciclados. No caso do xampu (III), há potencial de fim de vida devido ao reuso da embalagem como forma de disposição adotada.



No gráfico da Figura 18 é possível observar a pegada de CO₂ em quilogramas de cada uma das fases do xampu: Material, manufatura, transporte, uso e destinação final para os três cenários adotados. Além disso, como já citado, de acordo com as destinações, o programa apresenta um cálculo de uma potencial pegada de CO₂ do

final de vida. Novamente, apenas o terceiro cenário apresenta potencial de fim de vida, porque o reuso foi escolhido como destino para todos os componentes.

Tabela 9: Comparação entre os três cenários de xampu para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO₂. Percebe-se que o xampu (III) é o melhor em termos de emissão de carbono além de apresentar um potencial de fim de vida devido a escolha de reuso para a embalagem. O xampu (II) é melhor que a fio dental (I) devido ao uso de materiais 100% reciclados.

| Produto | Xampu (I) | | Xampu (II) | | Xampu (III) | |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Fase | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) |
| Material | 1.360 | 78,4% | 692 | 64,9% | 692 | 64,9% |
| Manufatura | 349 | 20,1% | 349 | 32,7% | 349 | 32,7% |
| Transporte | 19 | 1,1% | 19 | 1,7% | 19 | 1,7% |
| Uso | - | - | - | - | - | - |
| Disposição | 7 | 0,4% | 7 | 0,6% | 7 | 0,6% |
| Total primeira vida | 1.734 | 100,0% | 1.066 | 100,0% | 1.066 | 100,0% |
| Potencial de fim de vida | - | - | - | - | 692 | - |
| Total | 1.734 | - | 1.066 | - | 374 | - |

Os dados de pegada de CO₂ foram consolidados na Tabela 9 com o objetivo de ter maior clareza na comparação entre os xampus avaliados. Seguindo o que foi observado com os outros produtos, as fases material e manufatura têm grande destaque na participação na emissão de CO₂. Estas fases representam 98,5%, 97,6% e 97,6% respectivamente para o xampu (I), (II) e (III). A análise para esse produto é um pouco diferente dos demais porque, nos cenários (II) e (III), todos os componentes foram considerados 100% reciclados, assim, nesses casos, a fase material representa a redução de mais de 10% do peso das emissões de CO₂ ainda que siga sendo a fase predominante. O gráfico da Figura 18 ilustra essa redução na fase material enquanto que nas demais não há mudanças significativas.

A Tabela 9 traz a informação de potencial de fim de vida já citado. O xampu (III) tem como disposição o reuso, o que implica no potencial (economia) de 692 t CO₂. Esse valor é descontado do valor total da primeira vida de pegada de carbono, fazendo com que o xampu (III) seja o de menor emissão entre os três. O xampu (I) que possui 100% dos materiais provenientes de fonte primária e tendo como destinação final o aterro emite 3.173 t de CO₂, o xampu (III) mostra um total de 374 t de CO₂, ou seja, 22% das emissões do produto (I). Esse número representa uma economia de 1.360 t de CO₂ ou o equivalente a, aproximadamente, 1000 voos de São Paulo (SP) para Milão (IT). O xampu (II) se difere do (I) somente pela fase material, apresentando uma diferença de 668 t de CO₂, representando 61% das emissões do xampu (I).

Tabela 10: Detalhamento da fase material do xampu (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o material crítico é a garrafa sendo responsável por 77% das emissões.

| Component | Material | Recycled content* (%) | Part mass (kg) | Qty. | Total mass (kg) | CO2 footprint (kg) | % |
|----------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|----------|-----------------|--------------------|------------|
| Tampa | Polypropylene (PP) | Virgin (0%) | 1,1e+05 | 1 | 1,1e+05 | 3,1e+05 | 23,1 |
| Garrafa | Polyethylene terephthalate (PET) | Virgin (0%) | 3,8e+05 | 1 | 3,8e+05 | 1e+06 | 76,9 |
| Total | | | | 2 | 4,9e+05 | 1,4e+06 | 100 |

A Tabela 10 mostra detalhes da fase material (fase crítica) do xampu (I). Este produto é muito interessante por ser constituído por apenas dois componentes, de composição conhecida e, ainda assim, evidenciar tamanha diferença entre os casos adotados. Observando a Tabela 10, o componente crítico identificado é a garrafa. Porém, o xampu (III) adota como disposição final o reuso da embalagem inteira, o que soluciona tanto a emissão de CO₂ da garrafa assim como da tampa.

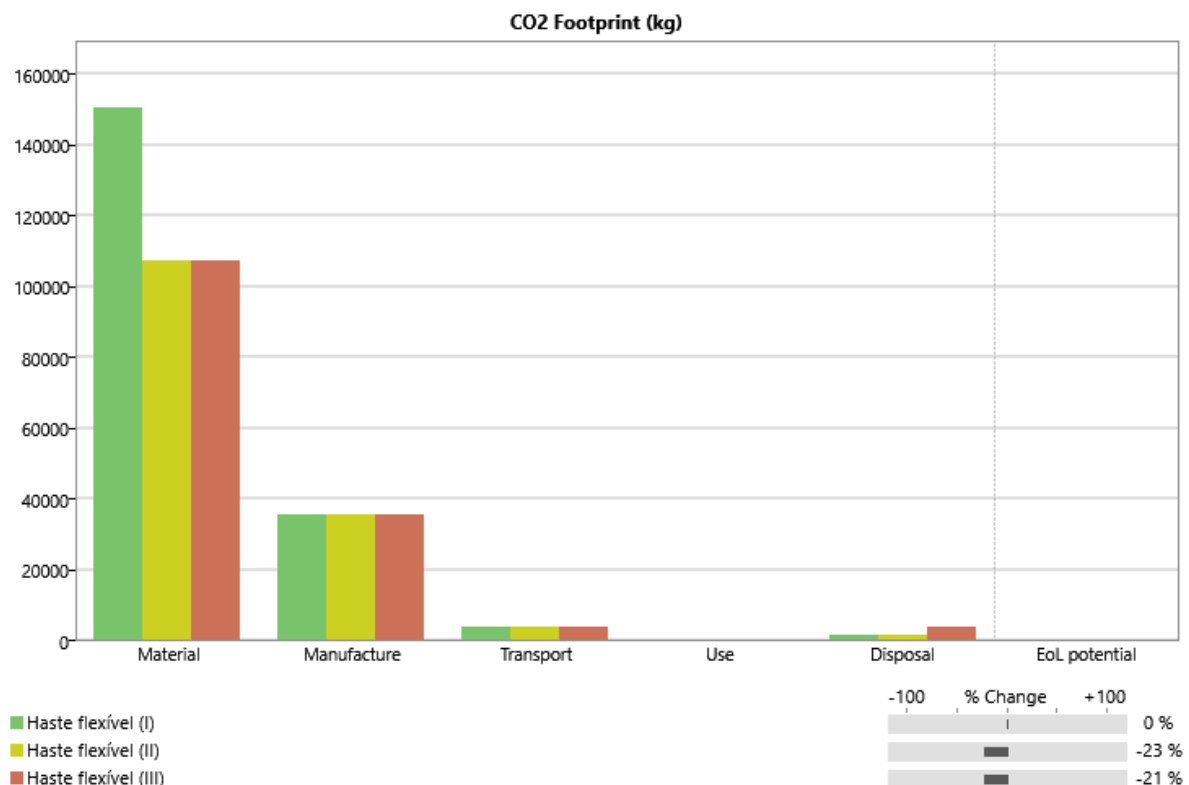
Utilizar materiais reciclados já tem um grande impacto positivo nas emissões do frasco de xampu. Mas, ainda vale questionar a existência da embalagem como se dá atualmente. A tecnologia disponível permite que haja xampu sólido ou até apenas o produto em pó a ser completado com água em casa, o que reduziria, ou até mesmo extinguiria o recipiente plástico tão danoso ao meio ambiente.

4.1.4. Eco auditoria das hastes flexíveis

Os dados acerca da pegada de gás carbônico obtidos via software CES EduPack relacionados aos três tipos de hastes flexíveis serão apresentados no gráfico e tabelas a seguir.

O gráfico da Figura 19 traz a comparação entre três cenários para o produto. O primeiro (haste flexível (I)) considera que toda a matéria prima é virgem e que a destinação final é o aterro. O segundo cenário (haste flexível (II)) considera que a matéria prima da haste e da embalagem externa são feitos de materiais 100% reciclados, enquanto que o algodão das pontas é de fonte primária. O destino final de todos os componentes é o aterro. Já no terceiro cenário, (haste flexível (III)), a estrutura de matéria prima é a mesma do segundo cenário, mas adota a hipótese de que a haste seja reciclada juntamente com a embalagem externa e o algodão seja destinado ao aterro.

Figura 19: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para a haste flexível. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que há redução nos cenários da haste flexível (II) e (III) quando adota-se materiais reciclados. Neste caso, não há potencial de fim de vida devido ao as opções de disposição adotada para os componentes deste produto.



No gráfico da Figura 19 é possível observar a pegada de CO₂ em quilogramas de cada uma das fases da haste flexível: Material, manufatura, transporte, uso e destinação final para os três cenários adotados. Neste caso em especial, nem o terceiro cenário apresenta potencial de fim de vida. Isso acontece porque o método de descarte para esse produto no cenário (III) foi a reciclagem e aterro, ou seja, não há a geração dos créditos a serem abatidos do total da pegada de carbono.

Tabela 11: Comparação entre os três cenários de haste flexível para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO₂. Percebe-se que a haste flexível (II) é melhor em termos de emissão de carbono. A haste flexível (III) é melhor que a haste flexível (I) por considerar materiais 100% reciclados, mas não a melhor opção por contar com reciclagem de alguns componentes no fim de vida, o que pode gerar gás carbônico na fase de disposição.

| Produto | Hastes flexíveis (I) | | Hastes flexíveis (II) | | Hastes flexíveis (III) | |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Fase | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) |
| Material | 151 | 78,7% | 107 | 72,4% | 107 | 71,2% |
| Manufatura | 35 | 18,5% | 35 | 24,0% | 35 | 23,5% |
| Transporte | 4 | 2,0% | 4 | 2,7% | 4 | 2,6% |
| Uso | - | - | - | - | - | - |
| Disposição | 1 | 0,8% | 1 | 1,0% | 4 | 2,7% |
| Total primeira vida | 192 | 100,0% | 148 | 100,0% | 150 | 100,0% |
| Potencial de fim de vida | - | - | - | - | - | - |
| Total | 192 | - | 148 | - | 150 | - |

A Tabela 11 traz os dados de pegada de CO₂ das hastes flexíveis (I), (II) e (III), com o objetivo de ter maior clareza na comparação. Novamente, as fases material e manufatura têm grande destaque na emissão de CO₂. Estas fases representam 97,2%, 96,4% e 94,7% respectivamente para a haste flexível (I), (II) e (III). Nos cenários (II) e (III), as hastes são consideradas 100% recicladas, assim, a fase material representa a redução do peso das emissões de CO₂ ainda que siga sendo a fase predominante. Outro detalhe importante que aparece pela primeira vez neste produto é a questão da reciclagem como destino final também emitir gás carbônico e, assim, a fase de disposição ganha mais importância na haste flexível (III).

Isso também é relevante porque faz com que o cenário (III) não seja o menor em termos de emissão de CO₂. Ainda que apresente uma economia de 41.460 kg CO₂ em relação a haste flexível (I) e representando 78% das emissões do cenário (I), é a haste flexível (II) que tem a menor emissão, representando 77% das emissões em relação a haste flexível (I). Esse valor equivale a uma economia de 44 t de CO₂ ou cerca de 70.000 kwh/mês.

Tabela 12: Detalhamento da fase material da haste flexível (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o material crítico é a haste sendo responsável por 74,5% das emissões.

| Component | Material | Recycled content* (%) | Part mass (kg) | Qty. | Total mass (kg) | CO2 footprint (kg) | % |
|-----------|-----------------------------|-----------------------|----------------|------|-----------------|--------------------|------|
| Haste | PP (homopolymer, high flow) | Virgin (0%) | 6,2e+04 | 1 | 6,2e+04 | 1,1e+05 | 74,5 |
| Algodão | Cotton | Virgin (0%) | 3,1e+04 | 1 | 3,1e+04 | 2,8e+04 | 18,5 |
| Embalagem | Cardboard | Virgin (0%) | 1e+04 | 1 | 1e+04 | 1e+04 | 7,0 |
| Total | | | | 3 | 1e+05 | 1,5e+05 | 100 |

A Tabela 12 mostra detalhes acerca da fase crítica (fase material) da haste flexível (I). Observa-se que a própria haste, feita de polipropileno, é o material crítico e representa 74% das emissões de CO₂ dessa fase. As hastes flexíveis (II) e (III) reduzem significativamente o impacto da fase material que continua sendo a fase crítica. Isso pela adoção de material 100% reciclado. Por outro lado, não foi criada nenhuma alternativa mais efetiva para a haste. O impacto deste produto é relevante, principalmente, por ser composto de plástico de uso único, o que coloca em dúvida a utilização de polipropileno para as hastes enquanto há outras opções viáveis e até reutilizáveis no mercado.

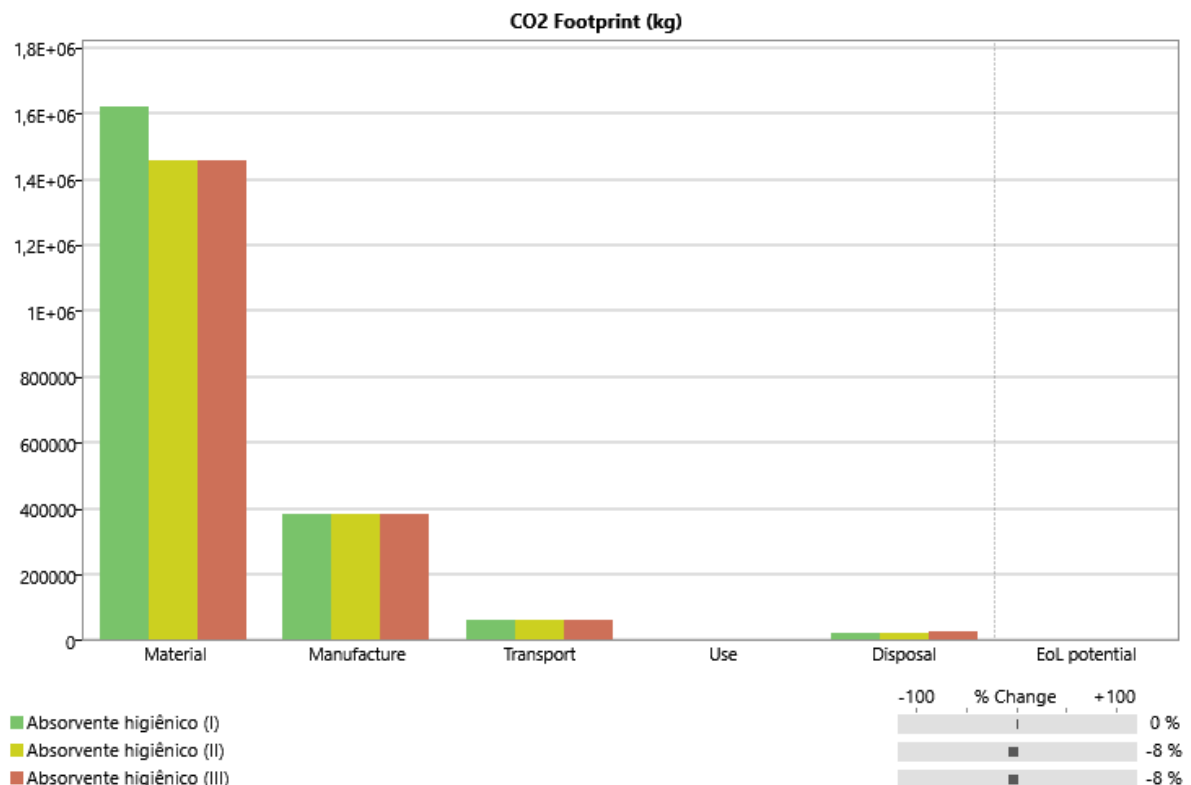
Outro ponto a ser considerado é o cuidado que se deve ter com hastes flexíveis já que, se usado de maneira incorreta, pode gerar danos à audição. Assim, é interessante questionar a forma como o produto é feito atualmente. É verdade que as hastes flexíveis possuem outras utilidades. Será que não seria importante voltar para a etapa de *design* e utilizar o *ecodesign* considerando as possíveis funções novas fora a original do produto junto com a questão de sustentabilidade?

4.1.5. Eco auditoria do absorvente higiênico

Os dados acerca da pegada de gás carbônico obtidos via software CES EduPack relacionados aos três tipos de absorvente higiênico serão apresentados no gráfico e tabelas a seguir.

A comparação entre três cenários para o produto pode ser encontrada no gráfico da Figura 20. O primeiro (absorvente higiênico (I)) considera que toda a matéria prima é virgem e que a destinação final é o aterro. O segundo cenário (absorvente higiênico (II)) considera que a matéria prima da embalagem externa e as embalagens plásticas individuais são feitas de materiais 100% reciclados, enquanto que o absorvente propriamente dito é de fonte primária. O destino final de todos os componentes é o aterro. Já no terceiro cenário, (absorvente higiênico (III)), a estrutura de matéria prima é a mesma do segundo cenário, mas adota a hipótese de que a embalagem externa e as plásticas individuais sejam destinadas para a reciclagem e o restante do absorvente seja destinado ao aterro.

Figura 20: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para o absorvente higiênico. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que há redução nos cenários do absorvente higiênico (II) e (III) quando adota-se materiais reciclados. Neste caso, não há potencial de fim de vida devido ao as opções de disposição adotada para os componentes deste produto.



O gráfico da Figura 20 traz a pegada de CO₂ em quilogramas de cada uma das fases da haste flexível: Material, manufatura, transporte, uso e destinação final para os três tipos de absorvente higiênico projetado. Assim como no caso das hastes flexíveis, nenhum dos cenários apresenta valor para o potencial de fim de vida. Isso acontece porque, como explicado anteriormente, a escolha de descarte na reciclagem e aterro não estão entre as que geram créditos que podem ser abatidos do total da pegada de carbono.

Tabela 13: Comparação entre os três cenários de absorvente higiênico para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO₂. Percebe-se que o absorvente higiênico (II) é melhor em termos de emissão de carbono. O absorvente higiênico (III) é melhor que a absorvente higiênico (I) por considerar materiais 100% reciclados, mas não a melhor opção por contar com reciclagem de alguns componentes no fim de vida, o que pode gerar gás carbônico na fase de disposição.

| Produto Fase | Absorvente (I) | | Absorvente (II) | | Absorvente (III) | |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) |
| Material | 1,62E+03 | 77,6% | 1,46E+03 | 75,8% | 1,46E+03 | 75,5% |
| Manufatura | 3,83E+02 | 18,4% | 3,83E+02 | 19,9% | 3,83E+02 | 19,8% |
| Transporte | 6,12E+01 | 2,9% | 6,12E+01 | 3,2% | 6,12E+01 | 3,2% |
| Uso | - | - | - | - | - | - |
| Disposição | 2,27E+01 | 1,1% | 2,27E+01 | 1,2% | 2,90E+01 | 1,5% |
| Total primeira vida | 2,09E+03 | 100,0% | 1,93E+03 | 100,0% | 1,93E+03 | 100,0% |
| Potencial de fim de vida | - | - | - | - | - | - |
| Total | 2,09E+03 | - | 1,93E+03 | - | 1,93E+03 | - |

Os dados de pegada de CO₂ dos absorventes higiênicos (I), (II) e (III) foram consolidados e estão apresentados na Tabela 13, com o objetivo de facilitar a comparação. Seguindo os demais produtos discutidos neste trabalho, as fases de material e manufatura são as de destaque na emissão de CO₂. O peso de cada uma delas é de 96,0%, 95,6% e 95,3% respectivamente para o absorvente higiênico (I), (II) e (III). A diminuição em percentual para os cenários (II) e (III), se deve ao fato de que a embalagem externa e a individual são consideradas 100% recicladas, dessa forma, a fase material representa a redução do peso das emissões de CO₂ ainda que siga sendo a fase predominante. Além disso, ao se escolher a reciclagem como destino final das embalagens externas e individuais, o software mostra a geração de CO₂ na fase de disposição, que ganha maior relevância no absorvente higiênico (III).

Entretanto, considerando a ordem de grandeza este aumento não é tão significativo, o que faz com que o cenário (III) tenha um valor de emissão de CO₂ muito semelhante ao cenário (II). Em termos de comparação, o absorvente higiênico (II) apresenta o menor valor de pegada de carbono, expressando redução de 8% das emissões em relação ao absorvente higiênico (I) ou 160 t CO₂. O absorvente higiênico

(III) mostra valores semelhantes sendo uma redução de 7% em relação ao absorvente higiênico (I) ou 154 t de CO₂. As economias apresentadas podem ser traduzidas no consumo de 310 botijões de gás por mês durante um ano.

Tabela 14: Detalhamento da fase material do absorvente higiênico (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o componente crítico é o próprio absorvente, cuja composição, neste caso, se adotou como sendo algodão.

| Component | Material | Recycled content* (%) | Part mass (kg) | Qty. | Total mass (kg) | CO2 footprint (kg) | % |
|-----------------------------|--|-----------------------|----------------|----------|-----------------|--------------------|------------|
| Embalagem externa | PE-LD (molding and extrusion) | Virgin (0%) | 3e+04 | 1 | 3e+04 | 5,6e+04 | 3,5 |
| Embalagem individual | PE-HD (general purpose, molding & extrusion) | Virgin (0%) | 1,5e+05 | 1 | 1,5e+05 | 2,8e+05 | 17,2 |
| Absorvente | Cotton | Virgin (0%) | 1,4e+06 | 1 | 1,4e+06 | 1,3e+06 | 79,3 |
| Total | | | | 3 | 1,6e+06 | 1,6e+06 | 100 |

A Tabela 14 traz detalhes da fase crítica (fase material) do absorvente higiênico (I). Esse produto é menos simples de analisar que o xampu, por exemplo, uma vez que sua composição é complexa e foram adotadas algumas simplificações. O componente crítico visto acima é o próprio absorvente, sendo responsável por 80% das emissões da fase material. Entretanto, sabe-se que não há apenas algodão e sim várias camadas também com polímeros inclusos.

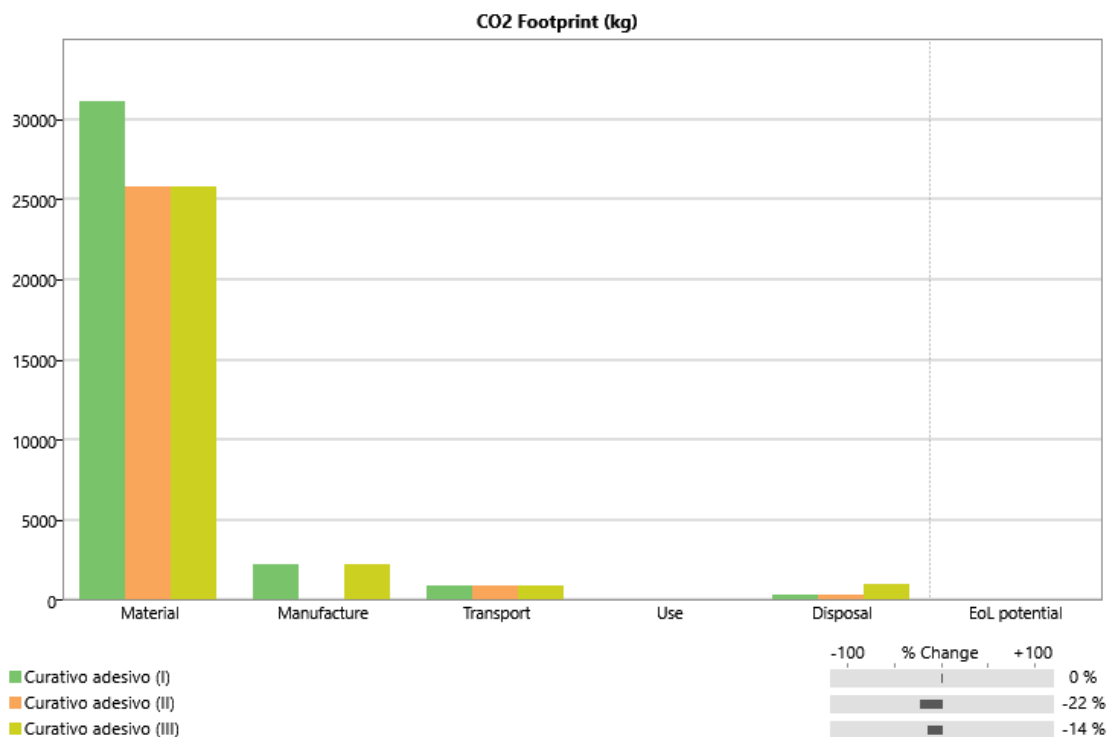
No caso deste produto, as alternativas dos absorventes higiênicos (II) e (III) melhoram a fase material, mas não resolvem o problema majoritário. Assim, alternativas já existentes no mercado seriam mais efetivas como a calcinha absorvente ou o coletor menstrual por se tratar de produtos passíveis de reutilização por longo tempo (3 a 5 anos em média).

4.1.6. Eco auditoria do curativo adesivo

Assim como nos demais produtos aqui estudados, os dados acerca da pegada de gás carbônico obtidos via software CES EduPack relacionados aos três tipos de curativo adesivo serão apresentados no gráfico e tabelas a seguir.

O gráfico da Figura 21 traz a comparação entre três cenários para o produto. O primeiro (adesivo curativo (I)) considera que toda a matéria prima é virgem e que a destinação final é o aterro. O segundo cenário (curativo adesivo (II)) considera que a matéria prima da embalagem externa, da individual e da rede polimérica do curativo são provenientes de materiais 100% reciclados. O destino final de todos os componentes é o aterro. Já no terceiro cenário, (curativo adesivo (III)), a estrutura de matéria prima é a mesma do segundo cenário, mas adota a hipótese de que as embalagens sejam destinadas para reciclagem enquanto o curativo em si seja endereçado ao aterro.

Figura 21: Gráfico comparativo entre os três cenários criados para o curativo adesivo. Observa-se claramente que a fase material é a fase crítica, mas que há redução nos cenários do curativo adesivo (II) e (III) quando adota-se materiais reciclados. Neste caso, não há potencial de fim de vida devido ao as opções de disposição adotada para os componentes deste produto.



Os dados acerca da pegada de CO₂ em quilogramas de cada uma das fases do curativo adesivo: Material, manufatura, transporte, uso e destinação final para os três tipos de curativo adesivo projetado podem ser encontrados no gráfico da Figura 21. As informações do gráfico dizem respeito ao consumo estimado para uma população de 1 milhão de habitantes durante 1 ano. Para esse produto, não há cenário que apresente valor para o potencial de fim de vida. Isso se deve pela escolha de descarte final, uma vez que a reciclagem e aterro não estão entre as que geram créditos que podem ser abatidos do total da pegada de carbono.

Tabela 15: Comparação entre os três cenários de curativo adesivo para dados de consumo anual para uma população hipotética de 1 milhão de habitantes - Fases da vida do produto e respectivas emissões de CO₂. Percebe-se que o curativo adesivo (II) é melhor em termos de emissão de carbono. O curativo adesivo (III) é melhor que a curativo adesivo (I) por considerar materiais 100% reciclados, mas não a melhor opção por contar com reciclagem de alguns componentes no fim de vida, o que pode gerar gás carbônico na fase de disposição.

| Produto | Curativo adesivo (I) | | Curativo adesivo (II) | | Curativo adesivo (III) | |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Fase | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) | Pegada de CO ₂ (t) | Pegada de CO ₂ (%) |
| Material | 31 | 90,1% | 26 | 88,2% | 26 | 86,2% |
| Manufatura | 2 | 6,3% | 2 | 7,5% | 2 | 7,3% |
| Transporte | 1 | 2,6% | 1 | 3,1% | 1 | 3,0% |
| Uso | - | - | - | - | - | - |
| Disposição | 0,3 | 1,0% | 0,3 | 1,2% | 1 | 3,4% |
| Total primeira vida | 35 | 100,0% | 29 | 100,0% | 30 | 100,0% |
| Potencial de fim de vida | - | - | - | - | - | - |
| Total | 35 | - | 29 | - | 30 | - |

Os dados de pegada de CO₂ dos curativos adesivos (I), (II) e (III) foram consolidados e estão apresentados na Tabela 15. Mais uma vez, as fases de destaque na emissão de CO₂ são as fases de material e manufatura. O peso de cada uma delas é de 96,4%, 95,7% e 93,6% respectivamente para o curativo adesivo (I), (II) e (III). O mesmo motivo dos cenários (II) e (III) para os demais produtos se aplica aqui: adoção de materiais 100% reciclados, o que implica na redução do peso das emissões de CO₂ da fase material ainda que siga sendo a fase predominante. Além disso, o fato da reciclagem ser adotada como destino final das embalagens externas e individuais, é atribuído um valor de emissão gás carbônico na fase de disposição, que ganha maior relevância no curativo adesivo (III) passando de 1,0% para 3,4%.

O fato do processo de reciclagem envolver emissão de gás carbônico faz com que o curativo adesivo (III), diferente da maioria dos produtos já apresentados, não apresente o menor valor de pegada de carbono. Na realidade, é o curativo adesivo (II), com 16% a menos das emissões do curativo adesivo (I) que mostra maior economia com o saldo de 29 t de emissão de CO₂. Por outro lado, o curativo adesivo

(III) ainda apresenta vantagem quando comparado com o (I), porque mostra 5 t de CO₂ a menos, o que pode ser traduzido em 100 voos do Rio de Janeiro para São Paulo.

Tabela 16: Detalhamento da fase material do curativo adesivo (I). Da esquerda para direita: Componente, materiais utilizados em cada componente, porcentagem de material reciclado, massa, quantidade, massa total, pegada de carbono, porcentagem equivalente da pegada de carbono. Percebe-se que o componente crítico pode ser as duas embalagens cuja composição é papel e papel cartão sendo cada uma delas responsável por cerca de 35% das emissões.

| Component | Material | Recycled content* (%) | Part mass (kg) | Qty. | Total mass (kg) | CO2 footprint (kg) | % |
|-----------------------------|-------------------------------|-----------------------|----------------|----------|-----------------|--------------------|------------|
| Embalagem externa | Paperboard | Virgin (0%) | 9,6e+03 | 1 | 9,6e+03 | 1,1e+04 | 35,0 |
| Embalagem individual | Paper (cellulose based) | Virgin (0%) | 9,6e+03 | 1 | 9,6e+03 | 1,1e+04 | 36,0 |
| Curativo | PE-LD (molding and extrusion) | Virgin (0%) | 4,8e+03 | 1 | 4,8e+03 | 9e+03 | 29,0 |
| Total | | | | 3 | 2,4e+04 | 3,1e+04 | 100 |

A Tabela 16 traz detalhes da fase crítica (fase material) do curativo adesivo (I). Assim como no caso do absorvente higiênico, esse produto também conta com simplificações na composição por não ser divulgado abertamente quais são todos os materiais exatamente utilizados. Observando os dados, é possível perceber que o componente crítico, nesse caso, são dois, as embalagens externas e individuais feitas de papel.

As propostas dos curativos adesivos (II) e (III) melhoram a situação por utilizar materiais 100% reciclados, porém ainda não é uma solução totalmente eficiente, visto que o curativo ainda vai para o aterro sanitário e também possui plásticos de uso único. Sendo assim, pensar em alternativas que utilizem menor quantidade de material pode ser uma alternativa ou até mesmo em outras matérias-primas menos poluentes.

4.2. Grupo focal

A metodologia de grupo focal apresentada foi aplicada para cada uma das duas turmas da disciplina de Seleção de Materiais (PMT 3414). As sessões tiveram cerca de 1 hora e a autora fez o papel do mediador. As perguntas que foram propostas tinham como objetivo direto investigar hábitos de consumo e a consciência do ciclo de vida do produto. A discussão passou por cada um dos produtos escolhidos para este trabalho. Inicialmente, perguntou-se quais os critérios e frequência de compra e as demais perguntas foram sendo montadas de acordo com a discussão. Abaixo, são apresentados alguns exemplos das perguntas propostas:

- Qual o critério para comprar escova de dente? Você quem compra? Quanto tempo dura?
- Você usa fio dental? Quantas vezes ao dia? Quanto tempo dura? Quem compra? Qual o critério de compra? Sabe quanto custa uma unidade do produto?
- Qual shampoo você usa e por quê? Divide o shampoo? Quanto tempo dura? Quem compra?
- Para as meninas: Usam absorvente? Comparam preço do absorvente?
- Usam curativos adesivos e hastes flexíveis? Compram de alguma marca específica? Quanto tempo dura o pacote?

A seguir, são apresentadas as percepções para cada produto.

Escova de dentes: Os alunos disseram que o preço era o primeiro critério ao comprar o produto. A questão de marca, indicação do dentista e a possibilidade de comprar combos também apareceram. O período para troca de escova não foi uniforme, alguns disseram que ela se dá conforme as condições da escova enquanto alguns comentários indicam que há a troca mais de 3 vezes por ano.

Fio dental: Para o fio dental, os alunos alegaram que a escolha é feita por marca por uma questão de conforto, apesar de também levar o preço em consideração e, a maioria indicou que usa o produto uma vez ao dia. Um ponto levantado pelos alunos foi a diferença entre fio dental e fita dental.

Xampu: Assim como os produtos anteriores, os alunos disseram escolher o xampu por comparação de preço e não usar sempre da mesma marca, revezando os produtos. Outro ponto levantado foi que, normalmente, compram embalagens maiores (400mL). Um dos alunos havia voltado recentemente de um intercâmbio na França, e comentou que utilizava frascos de 1L que não são encontrados no Brasil. Os colegas concordaram que se existisse a disponibilidade, eles comprariam. Quanto a duração de uma embalagem de 400mL, os alunos estimaram durar 1 mês. Durante a discussão, três alunas apontaram usar alternativa sólida, duas para minimizar os impactos ambientais e uma por melhor adaptação para o tipo de cabelo. Esse ponto foi interessante porque gerou discussão entre os alunos. Alguns disseram que tinham vontade de experimentar, mas que o preço era muito alto.

Absorvente: No caso do absorvente, é importante destacar os critérios de compra que não levam em consideração o preço do produto, e buscam comprar sempre a mesma marca. Duas meninas relataram usar coletor menstrual, uma pela questão ambiental e outra pela melhor adaptabilidade. Interessante observar o discurso das alunas nesse tópico, indicando que existe uma vontade em migrar para alternativas mais sustentáveis, porém ainda há um receio quanto à adaptação. Todas as alunas (mesmo as que usam) concordaram que o absorvente comum não é perfeito, causando desconforto.

Curativo adesivo: O critério de preço também foi citado, mas costumam comprar da mesma marca. Alguns alunos comentaram que usam para mais que uma funcionalidade. De forma geral, não sabem estimar o consumo nem a frequência de compra, mas é algo sempre disponível em casa.

Hastes flexíveis: Assim como os curativos adesivos, os alunos alegaram usar o produto para mais que uma finalidade e também compram da mesma marca. A percepção de duração de uma embalagem é de 3 a 4 meses. Além disso, um aluno comentou sobre uma alternativa de hastes flexíveis feita de papel com o objetivo de reduzir o consumo de plástico.

De forma geral e buscando pela espontaneidade dos alunos, eles apresentaram maior consciência ambiental, ainda que não na prática, com os produtos que já possuem maior marketing em cima da questão de sustentabilidade como

xampu e absorvente, trazendo para discussão as alternativas como xampu sólido, coletor menstrual e calcinha absorvente. Em relação aos outros produtos, com exceção do comentário das hastes flexíveis de papel, nada foi dito em relação a isso.

Esse comportamento é interessante porque evidencia a importância do marketing das empresas e do debate gerado acerca de alternativas de produtos mais sustentáveis. Empresas de xampu sólido, por exemplo, como a B.O.B. usam, como principal propaganda, dados reais de impacto ambiental comparando o xampu convencional (líquido) com o sólido. Isso incentiva consumidores que querem se engajar mais com a causa ambiental e, concomitantemente, informa o público com índices ambientais pouco discutidos na indústria de higiene e cosméticos.

Observando os comentários realizados ao longo das sessões, apesar do preço ser o critério mais citado para a maioria dos produtos, quando questionados sobre qual seria o preço ideal, falaram que o preço é levado em conta na hora da compra fazendo uma comparação entre as marcas ali presentes. Além disso, apenas uma aluna soube dizer o preço de um pacote de absorvente, fora isso, nenhum dos alunos sabia estimar o preço de nenhum dos produtos.

Ao finalizar as perguntas sobre critérios e hábitos de compra, os alunos foram questionados quanto ao descarte de cada um dos produtos. Nessa situação, cerca de 3 participantes comentaram da reciclagem e da coleta seletiva enquanto a maioria disse descartar no próprio lixo do banheiro, inclusive as embalagens externas dos produtos (normalmente constituídas de PET + papelão). No caso específico da escova de dente, um aluno alegou que descartava no lixo do banheiro porque acreditava ser um resíduo tóxico. Pode-se perceber que a pergunta final causou certa reflexão nos participantes e até um certo incômodo. Alguns comentários foram feitos tentando justificar a falta de atenção com o tópico e outros até disseram que iriam prestar mais atenção. O exercício em si foi muito rico para perceber que a noção de ciclo de vida do produto ainda não está presente no dia-a-dia das pessoas. Vale ressaltar que a pesquisa foi elaborada com estudantes de Engenharia de Materiais e Metalurgia, entre 20 e 27 anos, que possuem bastante contato com o tema de fabricação de produtos. Isso aponta um déficit até mesmo das disciplinas ministradas ao longo do curso que não abordam o fim da cadeia, refletindo no próprio comportamento cotidiano como consumidor.

4.3. Análise crítica dos trabalhos de seleção de materiais e auditoria ambiental dos alunos de graduação

A seguir são apresentadas análises críticas para cada dupla de alunos acompanhada ao longo da disciplina PMT 3414 da turma de 2021. De modo geral, três das seis duplas compreenderam a proposta e realizaram o projeto de seleção de materiais com domínio das técnicas e bastante engajamento. Enquanto que as outras três duplas obtiveram algumas dificuldades tanto na compreensão da proposta e em considerar a variável ambiental como na aplicação das técnicas ministradas na disciplina.

Abaixo serão apresentadas tabelas com comentários acerca da participação durante o processo do projeto, da apresentação dos alunos e do domínio das técnicas e relevância da discussão apresentada.

4.3.1. Escova de dentes

Tabela 17: Análise crítica do trabalho sobre escova de dente. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada.

| G1 - Escova de dentes | | |
|---|---|---|
| <i>Crítérios / Projetos</i> | Projeto Seleção de materiais | Projeto Eco auditoria |
| Participação durante a elaboração do projeto | Durante a elaboração do projeto, a dupla responsável pela escova de dente não se mostrou tão engajada com o projeto. Apesar de terem me procurado diversas vezes para tirar dúvidas, o nível de entendimento se mostrou bem baixo talvez por uma falta de envolvimento com a disciplina, o que dificultou colocar em prática os conceitos e técnicas aprendidos. Na reunião realizada, os alunos estavam bem confusos com o roteiro dos casos. | Para a segunda etapa, a dupla acabou se dividindo, mas um dos integrantes manteve a escova de dente como tema e foco. |
| Aplicação e domínio das técnicas | O projeto de seleção de materiais esperava a apresentação de três casos: I) Um objetivo e uma restrição; II) Um objetivo e duas restrições e III) Dois objetivos e uma restrição. Mesmo com as orientações passadas tanto por mim como pelo professor, a dupla não conseguiu fazer uma boa apresentação. Não houve domínio das técnicas em nenhum dos casos. No primeiro caso, os alunos se confundiram ao olhar para o gráfico como se estivessem maximizando o índice de desempenho, mas, pelas equações apresentadas, o índice deveria ser minimizado. No segundo caso, não houve o cálculo de um fator de acomplamento de forma correta e, no último caso, não foi realizado o método dos quadrantes. | A aluna conseguiu aplicar as técnicas necessárias para o segundo trabalho, utilizando bem a ferramenta disponível de eco auditoria. Além dos relatórios individuais, também realizou a comparação entre as alternativas discutidas. |
| Apresentação e discussão gerada | A apresentação da dupla não correspondeu às expectativas. Os alunos não apresentaram domínio das técnicas requeridas. Uma das restrições qualitativas adotada pela dupla foi a de considerar apenas polímeros, o que foi totalmente contrário às orientações dadas. Assim, não houve discussão gerada e a questão de sustentabilidade não foi abordada. | A aluna trouxe uma discussão bem interessante, usando de opções já apresentadas no mercado e levando em consideração a questão de sustentabilidade e também de adaptação para o consumidor. |

4.3.2. Fio dental

Tabela 18: Análise crítica do trabalho sobre fio dental. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada.

| G2 - Fio dental | | |
|---|--|---|
| <i>Crítérios / Projetos</i> | Projeto Seleção de materiais | Projeto Eco auditoria |
| Participação durante a elaboração do projeto | A dupla de alunos responsável pelo projeto de seleção de materiais do fio dental agiu de forma bastante independente durante a elaboração do projeto. Na reunião realizada (uma semana antes da apresentação), já mostraram o trabalho bem estruturado e utilizaram o canal para tirar dúvidas pontuais. Os alunos buscaram pesquisar especificações técnicas acerca do produto e procuraram alternativas considerando o fator de sustentabilidade já disponível no mercado. | Nesta segunda etapa, a dupla manteve o tema, mas o engajamento foi menor do que para o primeiro projeto. |
| Aplicação e domínio das técnicas | O projeto de seleção de materiais esperava a apresentação de três casos: I) Um objetivo e uma restrição; II) Um objetivo e duas restrições e III) Dois objetivos e uma restrição. O grupo cumpriu com êxito a aplicação da técnica para o primeiro caso. No segundo cenário, realizaram o cálculo do fator de acoplamento entre os índices de desempenho obtidos aplicando de forma correta o método. Por fim, para o terceiro caso, o método dos quadrantes não foi aplicado e utilizaram como objetivo a redução de custo ao invés da redução da pegada de carbono. Entretanto, não prejudicou o resultado da análise. | Os alunos conseguiram aplicar as técnicas necessárias para o segundo trabalho, utilizando bem a ferramenta disponível de eco auditoria. Além dos relatórios individuais, também realizou a comparação entre as alternativas discutidas. |
| Apresentação e discussão gerada | A apresentação dos alunos do projeto de seleção de materiais para o fio dental foi, de modo geral, compreensível e seguiu o roteiro proposto. Houve uma contextualização do produto junto com elementos técnicos explorados por eles. Na conclusão, houve a discussão levando a sustentabilidade em conta. As alternativas exploradas pelos alunos foram fibras naturais como a fibra de coco, além de apresentar alternativas mais <i>eco friendly</i> já existentes no mercado. Em suma, a dupla cumpriu com o objetivo do trabalho, porém faltou um pouco de interesse em utilizar do canal criado para auxílio. | A dupla trouxe alternativas fora das usuais de mercado para o produto causando certa reflexão sobre o tema. Entretanto, não foi criada uma discussão muito extensa sobre. |

4.3.3. Xampu

Tabela 19: Análise crítica do trabalho sobre xampu. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada.

| G3 - Xampu | | |
|---|--|---|
| <i>Crítérios / Projetos</i> | Projeto Seleção de materiais | Projeto Eco auditoria |
| Participação durante a elaboração do projeto | A dupla responsável pelo xampu se mostrou bastante engajada no projeto desde o início. Trouxeram dúvidas e também ideias já se interessando pela redução de plástico e buscando opções mais sustentáveis. A dupla me procurou várias vezes mostrando envolvimento com o trabalho. Foram realizadas 2 reuniões previamente a apresentação final. | Nesta segunda etapa, a dupla manteve o tema e o engajamento com o trabalho. Foram realizadas algumas reuniões buscando entender possíveis cenários e também discutir como trabalhar com as alternativas encontradas. |
| Aplicação e domínio das técnicas | O projeto de seleção de materiais esperava a apresentação de três casos: I) Um objetivo e uma restrição; II) Um objetivo e duas restrições e III) Dois objetivos e uma restrição. O grupo cumpriu com êxito a aplicação da técnica para o primeiro caso. No segundo cenário, não realizaram o cálculo do fator de acoplamento entre os índices de desempenho obtidos. E, para o terceiro caso, o método dos quadrantes não foi aplicado e utilizaram como objetivo a redução de custo ao invés da redução da pegada de carbono. Entretanto, não prejudicou o resultado da análise. | Os alunos conseguiram aplicar as técnicas necessárias para o segundo trabalho, utilizando bem a ferramenta disponível de eco auditoria. Além dos relatórios individuais, também realizou a comparação entre as alternativas discutidas e uma visão muito interessante relacionando impacto ambiental e localização (o que influencia no transporte e na energia). |
| Apresentação e discussão gerada | A apresentação dos alunos do projeto de seleção de materiais para o xampu, de modo geral, seguiu o roteiro proposto. Houve uma contextualização do produto junto com os materiais mais utilizados atualmente e os processos de fabricação. Na conclusão, apesar das alternativas encontradas serem poliméricas, a dupla realizou uma discussão levando a sustentabilidade em conta. Foi abordada a questão de refis e também embalagens feitas de material 100% reciclado. Sendo assim, dupla cumpriu com o objetivo do trabalho buscando melhorias para as alternativas que já existem. | A dupla trouxe uma discussão rica usando de opções já apresentadas no mercado e levando em consideração a questão de sustentabilidade e também de adaptação para o consumidor. Mas, além disso, foi realizada uma análise variando o país de uso e trazendo provocações quanto ao melhor cenário conforme a localização. |

4.3.4. Hastes flexíveis

Tabela 20: Análise crítica do trabalho sobre hastes flexíveis. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada.

| G4 - Hastes flexíveis | | |
|---|---|---|
| <i>Crítérios / Projetos</i> | Projeto Seleção de materiais | Projeto Eco auditoria |
| Participação durante a elaboração do projeto | A dupla de alunos responsável pelo projeto de seleção de materiais das hastes flexíveis mostrou envolvimento com o projeto desde o início do semestre. Na reunião que tivemos, tiraram dúvidas acerca das técnicas da disciplina e sobre como olhar para o produto de uma forma mais técnica. Também buscaram pesquisar sobre o produto e alternativas mais sustentáveis disponíveis no mercado. | Nesta segunda etapa, a dupla manteve o tema e o engajamento com o trabalho. Foram realizadas algumas reuniões buscando entender possíveis cenários e também discutir como trabalhar com a ferramenta de ecoauditoria. |
| Aplicação e domínio das técnicas | O projeto de seleção de materiais esperava a apresentação de três casos: I) Um objetivo e uma restrição; II) Um objetivo e duas restrições e III) Dois objetivos e uma restrição. O grupo cumpriu com êxito a aplicação da técnica para o primeiro caso. No segundo cenário, faltou o cálculo do fator de acoplamento entre os índices de desempenho obtidos. E, para o terceiro caso, não se seguiu a orientação do método dos quadrantes. | Os alunos conseguiram aplicar as técnicas necessárias para o segundo trabalho, utilizando bem a ferramenta disponível de eco auditoria. |
| Apresentação e discussão gerada | A apresentação dos alunos do projeto de seleção de materiais foi de modo geral compreensível e seguiu o roteiro proposto. Eles apresentaram conclusão e trouxeram a sustentabilidade para discussão. Porém, é importante observar que houve dificuldade de compreensão das técnicas propostas e, assim, impossibilitou que a apresentação fosse completa. Pelo acompanhamento que foi realizado, a dupla demonstrava interesse e o que faltou para ser um trabalho completo aparenta ter sido falta de tempo dedicado para a disciplina e para o projeto. | A dupla trouxe uma discussão rica usando de opções já apresentadas no mercado e levando em consideração a questão de sustentabilidade e também de adaptação e segurança para o consumidor. |

4.3.5. Absorvente higiênico

Tabela 21: Análise crítica do trabalho sobre absorvente higiênico. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada.

| G5 - Absorvente higiênico | | |
|---|---|--|
| <i>Crítérios / Projetos</i> | Projeto Seleção de materiais | Projeto Eco auditoria |
| Participação durante a elaboração do projeto | <p>A dupla responsável pelo absorvente higiênico se mostrou muito engajada desde o início com a disciplina e com o projeto de seleção de materiais. Foram realizadas três reuniões prévias à apresentação nas quais sempre eram levantadas questões bem direcionadas e em busca de um trabalho detalhista. Houve o cuidado de analisar o produto em suas particularidades e ir a fundo em um componente específico, o que permitiu uma análise que fizesse sentido e um aprofundamento rico.</p> | <p>Nesta segunda etapa, a dupla manteve o tema e o engajamento com o trabalho. Foram realizadas algumas reuniões buscando entender possíveis cenários e também discutir como trabalhar com as alternativas encontradas.</p> |
| Aplicação e domínio das técnicas | <p>O projeto de seleção de materiais esperava a apresentação de três casos: I) Um objetivo e uma restrição; II) Um objetivo e duas restrições e III) Dois objetivos e uma restrição. A dupla conseguiu aplicar as técnicas de maneira perfeita, teoricamente, seguindo, para os três casos, conceitos ensinados em sala de aula assim como a metodologia do livro texto.</p> | <p>As alunas conseguiram aplicar as técnicas necessárias para o segundo trabalho, utilizando bem a ferramenta disponível de eco auditoria. Além dos relatórios individuais, também realizou a comparação entre as alternativas discutidas.</p> |
| Apresentação e discussão gerada | <p>A apresentação da dupla teve uma qualidade muito boa, começando a partir de uma contextualização histórica, trazendo materiais que já foram utilizados para absorventes e seguindo o roteiro pré-estabelecido. As técnicas foram abordadas de forma integral, conforme todas as orientações dadas. A dupla focou na camada superficial do absorvente e o material apontado pela análise a partir do software CES EduPack foi o bambu. Curiosamente, na mesma semana da apresentação, houve um lançamento no mercado de um absorvente higiênico utilizando o bambu para a camada em foco.</p> | <p>A dupla trouxe uma discussão muito rica usando de opções já apresentadas no mercado, mas ainda não tão difundidas. Além disso, as alunas optaram por alternativas que fizessem sentido para elas, o que reforça o papel do consumidor e de hábitos na hora da compra e no momento de buscar por novas alternativas menos prejudiciais ao meio ambiente.</p> |

4.3.6. Curativo adesivo

Tabela 22: Análise crítica do trabalho sobre curativo adesivo. Os critérios adotados foram: participação durante a elaboração do projeto; aplicação e domínio das técnicas e apresentação e discussão gerada.

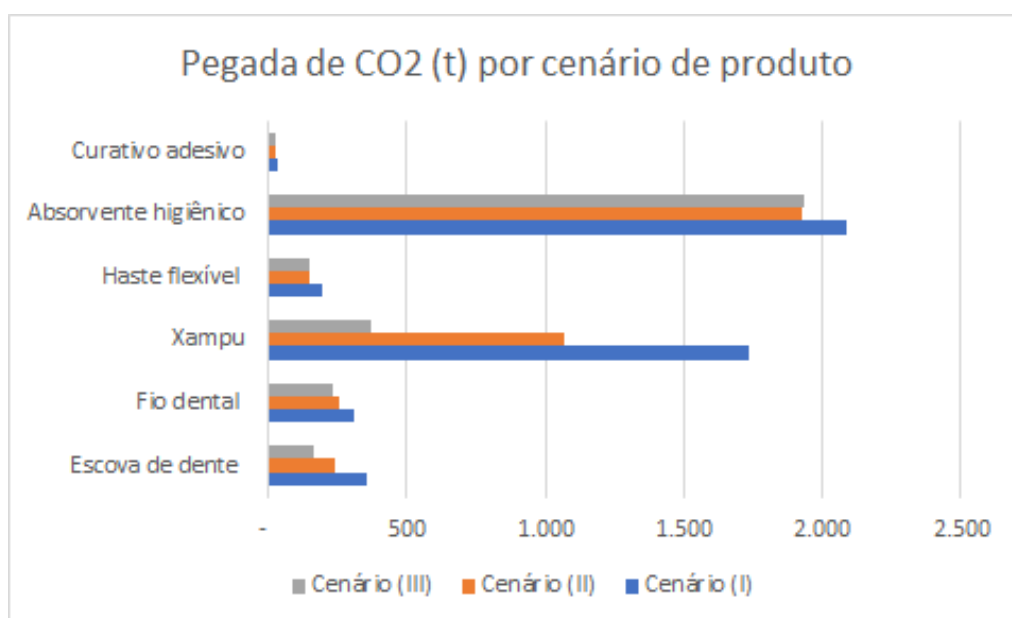
| G6 - Curativos adesivos | | |
|---|--|---|
| <i>Crítérios / Projetos</i> | Projeto Seleção de materiais | Projeto Eco auditoria |
| Participação durante a elaboração do projeto | A dupla responsável pelo curativo adesivo se mostrou bem empenhada no projeto. Durante a reunião realizada, as alunas tiraram dúvidas e já tinham o trabalho bem estruturado. Foi realizada uma pesquisa prévia sobre o produto, componentes e materiais utilizados. Por fim, decidiu-se focar no tecido flexível do curativo adesivo. | Nesta segunda etapa, a dupla manteve o tema do trabalho. |
| Aplicação e domínio das técnicas | O projeto de seleção de materiais esperava a apresentação de três casos: I) Um objetivo e uma restrição; II) Um objetivo e duas restrições e III) Dois objetivos e uma restrição. A dupla conseguiu apresentar a aplicação das três técnicas com sucesso em todos os casos propostos. No último caso, não foi aplicado o método dos quadrantes, mas isso não prejudicou o resultado da análise. | As alunas conseguiram aplicar as técnicas necessárias para o segundo trabalho, utilizando bem a ferramenta disponível de eco auditoria. Além dos relatórios individuais, também realizou a comparação entre várias alternativas discutidas. |
| Apresentação e discussão gerada | A apresentação da dupla apresentou qualidade alta com domínio das técnicas. As restrições utilizadas foram bem interessantes, além dos índices de desempenho, as alunas buscaram a fundo sobre outras questões importantes para o produto. O resultado final foi a combinação de silicone com espuma de poliuretano. De forma geral, o nível da apresentação foi bem satisfatório, entretanto, não abordaram a sustentabilidade em nenhum momento. Os materiais resultantes continuaram a ser plásticos e o objetivo de reduzir a pegada de gás carbônico não foi utilizado. Isso aconteceu talvez por um distanciamento da dupla com o tema, o que não o fez ser prioridade na discussão. | A dupla trouxe uma discussão interessante para um produto que não possui tantas alternativas "eco" difundidas. Elas buscaram fazer várias comparações utilizando a ferramenta ecoaudit até, de fato, chegar em alguma conclusão. Os produtos que elas trouxeram como alternativas são bem interessantes e provocaram uma reflexão fora do esperado. |

5. DISCUSSÃO

5.1. *Eco audit e ecodesign*

Considerando todos os produtos estudados e as diferentes propostas para cada um deles, observa-se no gráfico da Figura 22 que o absorvente higiênico seguido pelo xampu são os que possuem maior pegada de carbono. Enquanto que o curativo adesivo apresenta o menor valor. As economias de emissão de CO₂ que apareceram conforme algumas variáveis foram sendo modificadas, foram mais significativas no caso da escova de dentes e do xampu. Isso mostra a influência do reuso nos impactos ambientais. Para os demais produtos, ainda que a diferença entre o cenário (I) e (III) seja significativa, o cenário (III) equivale a mais de 70% das emissões do cenário (I).

Figura 22: Gráfico comparativo da pegada de carbono referente ao consumo anual de uma população hipotética de 1 milhão de habitantes para cada um dos produtos e seus respectivos cenários. Observa-se que o absorvente e o xampu são os produtos com pior desempenho em termos de pegada de CO₂. E o curativo adesivo apresenta o melhor desempenho entre os produtos analisados.



Vale ressaltar que algumas simplificações foram adotadas uma vez que não há disponibilidades da composição exata dos produtos. Atualmente, no Brasil, não existe nenhuma legislação que diga que as embalagens devem conter informações acerca da sua composição. Além de implicar nas simplificações adotadas no presente trabalho, isso impacta no processo de reciclagem. Isso porque não se pode reciclar o que não se conhece. Portanto, é interessante que as empresas adotem simbologias como a da *American Society of the Plastics Industry (SPI)* que consiste em um código

numérico a fim de identificar o tipo de material predominante em um produto ou embalagem.

Tabela 23: Comparação da pegada de CO₂ em tonelada entre os cenários propostos para cada um dos produtos.

| Produto | Pegada de CO ₂ (t) | | |
|----------------------|-------------------------------|--------------|---------------|
| | Cenário (I) | Cenário (II) | Cenário (III) |
| Escova de dente | 354 | 244 | 163 |
| Fio dental | 310 | 254 | 232 |
| Xampu | 1.734 | 1.066 | 374 |
| Haste flexível | 192 | 148 | 150 |
| Absorvente higiênico | 2.087 | 1.927 | 1.933 |
| Curativo adesivo | 35 | 29 | 30 |

Em cada uma das versões criadas para os produtos adotou-se algumas hipóteses como frequência de consumo. Porém, além disso, buscou-se pensar em perspectivas levando o conceito do *ecodesign* em consideração. Ou seja, olhando para o produto durante seu ciclo de vida completo e não só até o uso, mas considerando, claro, a função que este deve exercer. Assim, a partir dos resultados apresentados anteriormente, serão discutidos os cenários e a viabilidade de cada um destes.

5.1.1. Curativo adesivo

O curativo adesivo é o produto com menor emissão entre os seis estudados. Ainda assim, trata-se de um produto de uso único (*single use plastic*) e com descarte sem potencial de fim de vida. Pensar em uma alternativa que tivesse mais de um uso e que fosse mais durável pode ser interessante, ainda que desafiador. Talvez a disposição do produto possa ser questionável e, ao invés de serem curativos soltos, possa ser algo contínuo, cujo tamanho seja possível de dimensionar conforme necessidade.

Para a idealização e concepção de um curativo adesivo que leve em consideração o *ecodesign*, é importante sempre se atentar ao conceito de “ciclo de vida”. Como observado nos resultados referentes a este produto, a fase crítica é a de

material. Assim, uma possível maneira de minimizar o impacto da fase material seria olhar para a 6ª regra do *ecodesign*: promover vida longa, especialmente para os produtos que apresentam maior impacto ambiental nas outras fases que não a de uso. Portanto, pensar em minimizar a massa do curativo adesivo ou até minimizar a diversidade de materiais e camadas ali presente pode ser uma alternativa condizente.

5.1.2. Haste flexível

Acerca dos dados resultantes para a haste flexível, os cenários alternativos (II) e (III) equivalem, aproximadamente, 20% menos emissões que o cenário (I). Este produto merece atenção por se enquadrar, assim como o curativo adesivo, nos plásticos de uso único e, talvez, alternativas reutilizáveis ou com funcionalidades diferentes possam ser discutidas. Isso porque, como apresentado durante a revisão bibliográfica, há uma preocupação com o uso correto das hastes flexíveis e alternativas de uso como limpar excesso de maquiagem são empregadas para o produto. Afim de pensar em alternativas que condizem com o *ecodesign* é essencial olhar para as possíveis funções que o produto pode exercer e levar em consideração o ciclo de vida inteiro do produto.

É verdade que hoje já existe essa preocupação por parte de algumas empresas e hastes flexíveis com a haste feita de papel já existem. Mas, pensando nas regras do *ecodesign*, um produto que seja reutilizável com maior vida útil e seja menos perigoso é uma alternativa mais sustentável. Ao pensar nesta ideia, a emissão de CO₂ seria reduzida por não ser mais necessário adquirir inúmeras unidades do produto. Assim, uma haste flexível reutilizável com pontas laváveis ou ainda com a ponta de algodão passível de troca após o uso já representaria um grande avanço em termos de sustentabilidade.

5.1.3. Fio Dental

Quando se observa os dados do fio dental, o que impressiona não é só a pegada de CO₂ gerada pelo produto, mas a quantidade de resíduo também. A Tabela 4 mostra que a quantidade de fio dental utilizada por uma população de 1 milhão de habitantes, considerando o uso de 40 cm uma vez ao dia, equivale a três voltas ao

redor da Terra. Utilizando uma caixinha que tenha como opção de final de vida o reuso não diminui as voltas no planeta, mas reduz as emissões de carbono em, aproximadamente 25%.

Pensando que o componente crítico da fase crítica é o fio de nylon, alternativas naturais poderiam ser estudadas para possível uso. Atualmente, já existem opções com fio de seda, porém pouco divulgadas e populares entre os consumidores. A dupla da disciplina de PMT 3414, responsável pelo fio dental, encontrou a fibra de coco atendendo as restrições colocadas no software. Talvez seja interessante explorá-la mais. Além de ser de fonte renovável e natural, o resíduo seria mais próximo de algo orgânico e sua degradabilidade seria mais rápida.

5.1.4. Escova de dente

Os resultados para a escova de dentes assim como para o xampu evidenciaram a importância que o reuso como opção de final de vida possui. Produtos que colocam as hipóteses adotadas para a escova de dentes (III) e para o xampu (III) já existem. As escovas de dentes elétricas, por exemplo, necessitam da troca apenas da parte das cerdas, mantendo o cabo. Por que não trazer a ideia para as escovas tradicionais?

O cabo possui mais resistência que as cerdas e não há necessidade de troca periódica. Como visto na Figura 16, o reuso deste componente e o emprego de material reciclado implicaria na economia de 191 toneladas anualmente considerando apenas uma população de 1 milhão de habitantes. Coincidentemente, a Colgate lançou, recentemente, uma escova com uma proposta muito similar a esta como mostra a Figura 23.

Figura 23: Escova de dente com cabo reutilizável da Colgate.



Fonte: (CICLO VIVO, 2021).

5.1.5. Xampu

No caso do xampu, que ficou em segundo lugar em termos de emissão de CO₂, a opção de refis não é novidade no mercado, entretanto, é necessário fazer uma avaliação dos materiais que o refil possui, uma vez que este também deveria entrar nos cálculos para uma avaliação mais justa. Além desta, outras alternativas já estão disponíveis. O xampu sólido é outra opção interessante por não precisar de embalagens específicas e em grandes quantidades. E, em adicional, conta com a ausência de plásticos.

Como foi abordado anteriormente, alternativas para o xampu são mais conhecidas por haver uma maior propaganda sobre elas. Essa situação considera a abolição da embalagem polimérica, além de contar com uma redução de volume para transporte de mercadoria já que a água necessária é a do banho. Uma outra ideia é a de vender algo como a essência do xampu concentrada, com a possibilidade de adicionar água em casa. Assim também haveria redução do uso da embalagem plástica. Aqui é interessante ressaltar que mesmo com as opções mais sustentáveis mais divulgadas, estas ainda não se tornaram a primeira opção para consumidores como foi visto no exercício de grupo focal com os alunos.

5.1.6. Absorvente higiênico

Olhando para o gráfico da Figura 22 e a Tabela 23, é possível perceber o tamanho do impacto ambiental que o absorvente higiênico gera, sendo este o pior dos seis produtos estudados. E, apesar de também ser um produto cujas alternativas mais

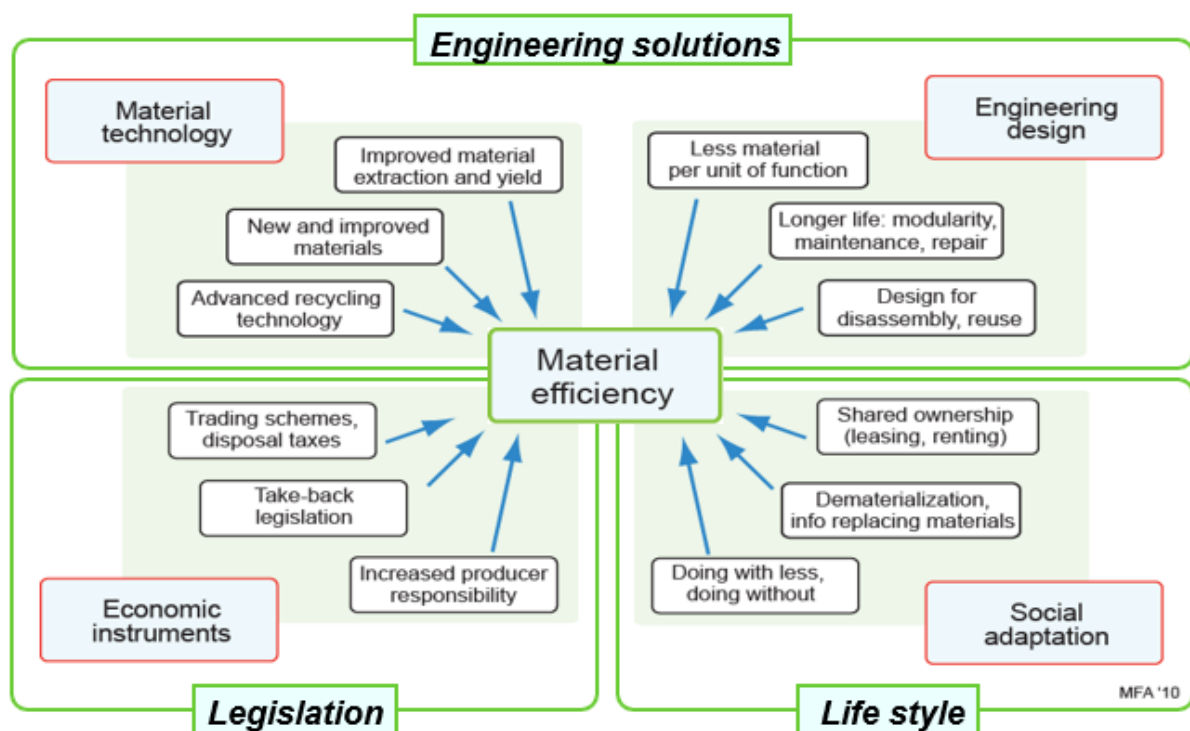
sustentáveis estão em pauta, ainda é algo visto como tabu para muitas mulheres. Se pensarmos em opções como o coletor menstrual, o valor da pegada de CO₂ poderia ser reduzida muito significativamente, isso porque, ainda sendo um polímero, há a possibilidade de reuso por até 5 anos. Dentre os produtos estudados, este é o mais pessoal e íntimo, o que pode gerar desconforto nos consumidores ao se pensar em alternativas. No grupo focal com os alunos, ficou claro que para esse caso, as meninas mantinham sempre a mesma escolha de marca e modelo ao realizar a compra.

Por outro lado, é um produto que apresenta grande oportunidade de inovação levando em consideração a sustentabilidade e os princípios do *ecodesign*. Assim, visto que há um apego com as marcas de absorvente já existentes, alternativas lançadas por estas marcas poderiam ser melhor aceitas no mercado e difundida entre os consumidores.

5.2. Forças da mudança para assegurar o ecodesign de produtos

A questão da sustentabilidade está cada vez mais presente e sendo discutida em inúmeros âmbitos. Mas ainda é desafiador pensar em alternativas de produtos tão comuns, presentes no cotidiano. Quando se observa os dados numéricos, é possível perceber que pequenos ajustes já teriam grandes impactos como a adoção de matéria reciclada e a própria reciclagem como fim de vida. Entretanto, isso ainda não está tão claro para o consumidor.

Figura 24: Forças de mudança segundo Ashby (2011) para se chegar na eficiência de materiais levando em consideração o *ecodesign*.



Fonte (ASHBY, 2011)

Segundo Ashby (2011), existem forças de mudança para melhorar a eficiência do uso de materiais. A Figura 24 traz os quatro elementos elencados pelo autor sendo estes: Tecnologia de materiais, *design* de material, instrumentos econômicos e adaptação social. Estes itens podem ser enquadrados em três grandes áreas: soluções de engenharia, legislação e estilo de vida.

Para soluções de engenharia, alguns pontos importantes são levados em consideração dentro de tecnologia de materiais e *design* de engenharia. De fato, para implementar mudanças no uso de materiais é essencial o desenvolvimento da

tecnologia para avançar no conhecimento sobre reciclagem, descoberta de novos materiais, aumento de vida útil do produto e também levar em consideração alternativas como o reuso. E, sempre adotando o *ecodesign*. Autores como Romli (2015) evidenciam a importância de ter o *ecodesign* integrado nas fases do projeto de desenvolvimento de um produto. Romli (2015) apresenta uma metodologia integrada de tomada de decisão com *ecodesign (IEDM)* dividida em três etapas: avaliação do ciclo de vida, um modelo de *ecodesign* e a implementação de uma ferramenta de *ecodesign* (função de qualidade) para aprimorar o processo, por exemplo. É interessante perceber que o uso de um conceito que, em outras palavras, olha para o produto desde o momento de sua concepção até sua disposição final, traz benefícios não só ambientais mais também econômicos devido ao uso de menos materiais e menor necessidade de produzir vários componentes.

Observando os instrumentos econômicos apresentados por Ashby, a legislação tem um papel importante de regularização. Esse fato tem peso uma vez que obriga empresas a tomarem uma postura diferente da usual, acelerando a implementação de uma mudança desejável. Por exemplo, ainda que não obrigatória, a Política Nacional de Resíduos Sólidos já foi responsável por mobilizações por parte de empresas e melhor orientação acerca das destinações dos resíduos. De certa forma, políticas assim também servem como forma de educar as empresas e até a própria população. Por fim, Ashby (2011) traz a sociedade que é, de fato, fundamental em qualquer alteração de hábito, uma vez que são os consumidores que geram demanda e fazem algo ser disseminado. O estilo de vida guia os hábitos de consumo e Bui (2005) já abordava isso quando discutiu fatores que influenciam na busca por produtos mais sustentáveis. Os consumidores devem valorizar a proteção ao meio ambiente antes que eles possam ter a intenção de comprar produtos ecológicos (BUI, 2005).

Sendo assim, apenas a engenharia de materiais não é suficiente para encontrar opções sustentáveis. Vivemos em uma sociedade totalmente conectada, na qual muitos setores e esferas se conversam e se interligam. Do ponto de vista da legislação, leis mais claras e rígidas acerca da produção de plásticos de uso único, por exemplo, afetariam a consciência dos consumidores? Provavelmente. Mas, indo além do que é apresentado por Ashby, outras forças de mudança podem ser consideradas elementos chave na implementação de uma cultura mais sustentável no

cotidiano. Os hábitos de consumo se criam a partir de um conjunto de fatores que envolve tecnologia, desenvolvimento de produto, qualidade, marca (*branding*) e marketing (divulgação).

Como apresentado no resultado do exercício de grupo focal, os alunos apresentaram maior consciência para os impactos ambientais em relação a produtos que já possuem alternativas com maior divulgação como o absorvente higiênico e o xampu líquido. Além disso, existem inúmeras técnicas de marketing e, no mundo das redes sociais, os anúncios estão cada vez mais segmentados e personalizados, o que faz com que menos pessoas tenham acesso a produtos e serviços diferentes dos que estão acostumadas. Dessa forma, ferramentas de marketing deveriam ser consideradas instrumentos extremamente importantes em transição de costumes de consumo. Junto a isso, algo que apareceu fortemente nos comentários foi a relação do consumidor com a marca. Isso mostra a responsabilidade que as empresas possuem. Por exemplo, se empresas de absorventes higiênicos também desenvolvessem alternativas mais sustentáveis como o coletor menstrual, a marca seria mais aceita e teria maior força para a mudança do que uma marca independente. Isso porque produtos de higiene do cotidiano acabam tendo grande proximidade com os consumidores, criando uma relação de confiabilidade, o que faz com que o indivíduo se sinta seguro para aderir algo totalmente novo se vindo de uma marca conhecida.

Estes últimos agentes apresentados estão em linha com o que Winston e Mintu-Wimsatt (1995) trouxeram no livro *"Environmental Marketing"* já no século XX. As empresas precisam pensar não apenas no impacto de seu produto nas mãos do consumidor, mas também no processo pelo qual o produto é feito e vendido, ou seja, considerando todo o ciclo de vida. Há uma necessidade de se preocupar com o "equilíbrio ecológico" de cada produto, a minimização de riscos e impactos ao longo de seu ciclo de vida e os recursos necessários tanto para fabricá-lo como para descartá-lo. Uma nova abordagem de marketing que promova o "reconsumo" - a capacidade de usar e reutilizar bens no todo ou em parte, ao longo de vários ciclos de uso ou gerações - pode se tornar o ideal industrial de um sistema econômico. O desenvolvimento de produtos que podem ser reconsumidos ao longo de várias

gerações e a educação dos consumidores tornam-se tarefas dos profissionais de marketing (WINSTON; MINTU-WIMSATT, 1995).

Para Winston e Mintu-Wimsatt (1995) o marketing sustentável significa mais do que redução da poluição e responsabilidade pelo ciclo de vida. As empresas são desafiadas a avançar em direção a "poluição zero", "desperdício zero" e redirecionamento dos esforços de desenvolvimento de produtos para atender às necessidades ecológicas. O objetivo é tornar a fabricação, o uso e o descarte dos produtos mais compatíveis com o desenvolvimento sustentável. Isso inclui esforços que nos ajudam a produzir mais com menos. E o que os autores acreditavam ser parte integrante da vida corporativa na década de 1990 está se disseminando só agora, 30 anos depois.

Um último agente essencial que veio à tona através dos resultados deste trabalho é a educação. A missão do departamento de Engenharia de Materiais da Escola Politécnica da USP é *"formar recursos humanos de excelência em Engenharias Metalúrgica e de Materiais, bem como gerar conhecimento para o progresso sustentável do país"*. Porém, como apresentado anteriormente, conceitos importantes para o desenvolvimento sustentável como "ciclo de vida" é visto em apenas uma disciplina no quarto ano do curso. E, apesar do contato com esta se mostrar importante para ampliação da consciência ambiental dos alunos, ainda é algo muito pequeno diante da relevância que o assunto detém.

Algo que endossa a importância da educação é o fato de que perfis demográficos feitos no passado mostram que a educação está ligada às atitudes e comportamentos dos consumidores. A maioria dos estudos de perfil demográfico feitos sobre a relação entre a educação e os comportamentos dos chamados "consumidores verdes" (aqueles que tendem a buscar por produtos mais sustentáveis) foram positivamente correlacionados (BUI, 2005). Mas no Brasil a situação parece caminhar para o lado oposto. Oliveira e Neiman (2020) fazem uma análise da educação ambiental no âmbito escolar e abordam a importância desta desde a educação de base. Porém, mostram que o Brasil está muito distante de outros países no tema. O tópico de educação ambiental é essencial para todos os cidadãos e aqui no Brasil se tornou importante com a Constituição de 1988 tendo a inclusão de um artigo relacionado ao meio ambiente e se tornou obrigatória no ensino brasileiro com

a aprovação da lei 9.795/99. Porém, a realidade ainda se mostra distante da teoria e Nova Base Nacional Comum Curricular aprovada em 2017 apresenta uma quase total ausência da educação ambiental (OLIVEIRA; NEIMAN, 2020).

Partindo dos resultados obtidos pelo software CES EduPack, é possível perceber que algumas mudanças relativamente simples já teriam um grande impacto na emissão de CO₂. Entretanto, muitos fatores estão envolvidos na implementação de produtos novos e, como apresentado, não é um assunto novo e muitos conceitos podem ser encontrados na literatura desde o século passado. Então, o que falta para alcançar uma solução? Devido à complexidade de transição, principalmente por envolver consumidores diversos com inúmeras variações de hábitos e cultura, a solução pode ser encontrada na sinergia entre os agentes discutidos: engenharia do material (englobando conceitos de *ecodesign*), legislação, empresas, ferramentas de marketing ambiental, educação e o próprio consumidor. O cenário é de oportunidades, mas precisa ser integrado e feito de forma interativa e organizada. Cada um dos agentes definidos já foram discutidos individualmente, mas para que hábitos mais sustentáveis estejam presentes no dia-a-dia, é crucial que todos estes elementos sigam em uma mesma direção, assim será possível alcançar um resultado mais efetivo e eficiente.

6. CONCLUSÕES

- A metodologia empregada funciona e viabilizou a discussão de alternativas mais sustentáveis em termo de emissão de CO₂ para os seis produtos analisados. Foi possível analisar todos os casos e observar que o mais emblemático é o absorvente higiênico, liderando no valor da pegada de carbono.
- As forças de mudança para uma sociedade apta a consumir produtos mais sustentáveis se mostraram ser não apenas as apresentadas por Ashby (2011), mas o conjunto dos atores: engenharia do material (englobando conceitos de *ecodesign*), legislação, empresas, marketing ambiental, educação e o próprio consumidor.
- O acompanhamento dos alunos junto à elaboração deste trabalho permitiu entender a importância do papel da educação ambiental não apenas no ensino superior, mas principalmente na base. Este elemento é um dos pontos chave uma vez que toda transformação depende de uma cultura implementada e, neste caso, isso pode ser modificado através da educação.
- Apesar de conceitos como *ecodesign*, ciclo de vida e até educação ambiental estarem presentes na literatura há bastante tempo, o século XXI representa uma época de transição, no qual existem diversas oportunidades de negócios que se guiam por princípios da sustentabilidade, mas que para ter êxito precisa da integração com os demais atores apresentados.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de complementar os resultados e conclusões obtidos neste trabalho, sugere-se a realização de análises e estudos adicionais:

- Uso de outros softwares como metodologia a fim de explorar outros índices de impacto ambiental.
- Entender como a educação ambiental se dá, na prática, em escolas públicas de 1º e 2º grau e meios de melhorar esse aspecto para as novas gerações.
- Explorar os agentes das chamadas forças de mudança e entender melhor a relação entre eles.
- Estudar maneiras práticas de implementar alternativas discutidas como o caso do coletor menstrual como opção para o absorvente.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHPMA. **Feminine hygiene**. Disponível em: <https://www.ahpma.co.uk/feminine-hygiene/>. Acesso em: 20 jul. 2021.

ASHBY, M. **Eco-Design**. Cambridge: Granta, 2020. 23 slides.

ASHBY, M. F.; COULTER, P.; BALL, N.; BREAM, C. **The CES EduPack Eco Audit Tool - A White Paper**. 2012.

ASHBY, M. F.; COULTER, P.; BALL, N.; BREAM, C. **The CES EduPack Eco Audit Tool—A White Paper**. Granta Material Inspiration, v. 3, p. 1-18, 2009.

BOTTAN, E. R.; CAMPOS, L.; ODEBRECHT, C. M. R. ; SILVEIRA, E. G. ; SCHMITT P.; ARAÚJO, S. M. **Crítérios adotados para a escolha da escova dental: estudo com consumidores de Florianópolis, Santa Catarina (Brasil)**. Rev SulBras Odontol. 2010 Jun;7(2):173-81.

BUI, M. H. **Environmental marketing: A model of consumer behavior**. Loyola University New Orleans. Association of Collegiate Marketing Educators, p. 20, 2005.

CAO, H.; FOLAN, P. **Product life cycle: the evolution of a paradigm and literature review from 1950 to 2009**. Production Planning & Control, [S.L.], v. 23, n. 8, p. 641-662, 17 jun. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/09537287.2011.577460>

COELHO, P. M.; CORONA, B.; KLOOSTER, R. T.; WORRELL, E. **Sustainability of reusable packaging—Current situation and trends**. Resources, Conservation & Recycling: X, [S.L.], v. 6, p. 100037, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100037>

COLGATE. **Como usar o fio dental**. 2021. Disponível em: <https://www.colgate.com.br/oral-health/brushing-and-flossing/how-to-floss>. Acesso em: 07 jun. 2021.

COSMETIC INNOVATION. **Mercado brasileiro de hair care supera os R\$ 23 bilhões em 2020**. 2021. Disponível em: <https://cosmeticinnovation.com.br/mercado-brasileiro-de-hair-care-supera-os-r-23-bilhoes-em-2020/>. Acesso em: 19 jul. 2021.

COSTA, S. C. F. **Does innovation strategy for sustainable products influence consumer trust in the sustainability claim?: a study across different product types**. 2020. Tese de Doutorado.

ECYCLE. **Símbolo da reciclagem**. 2018. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/simbolo-da-reciclagem/>. Acesso em: 29 set. 2021.

EDUCA IBGE. **Quantidade de homens e mulheres no Brasil**. 2019. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-o-brasil/populacao/18320-quantidade-de-homens-e-mulheres.html>. Acesso em: 12 ago. 2021.

[ENEC] European Network of Ecodesign Centres. **Envisioning Ecodesign-Definitions, Case Studies and Best Practice**. Disponível em <<http://www.ecoconception.fr/data/sources/users/4/screenenecbrochure140314.pdf>>.

ENTERPRISE EUROPE NETWORK. **Diretiva ecodesign**: documentos de apoio às empresas. UE, 2020

FISCHMAN, S. L. **The history of oral hygiene products: how far have we come in 6000 years?**. Periodontology 2000, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 7-14, out. 1997. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0757.1997.tb00099.x>.

FOREO. **How Toothbrushes Affect the Environment: An Infographic**. 2015. Disponível em: <https://www.foreo.com/mysa/how-toothbrushes-affect-environment-infographic/>. Acesso em: 30 jul. 2021.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. **Toothbrush market**. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/toothbrush-market-103880>. Acesso em: 29 jul. 2021.

FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR. **REUSE: rethinking packaging**. Rethinking Packaging. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Reuse.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2021

GUBITOSA, J.; RIZZI, V.; FINI, P.; COSMA, P. **Hair Care Cosmetics: from traditional shampoo to solid clay and herbal shampoo, a review.** Cosmetics, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 13, 19 fev. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/cosmetics6010013>.

HAIT, A.; POWERS, S. E. **The value of reusable feminine hygiene products evaluated by comparative environmental life cycle assessment.** Resources, Conservation And Recycling, [S.L.], v. 150, p. 104422, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104422>.

HEISKANEN, E. **The institutional logic of life cycle thinking.** Journal of Cleaner Production, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 427-437, out. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0959-6526\(02\)00014-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0959-6526(02)00014-8).

HOBSON, J. C; A LAVY, J. **Use and Abuse of Cotton Buds.** Journal of the Royal Society of Medicine, [S.L.], v. 98, n. 8, p. 360-361, ago. 2005. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/014107680509800808>.

HOW PRODUCTS ARE MADE. **DENTAL FLOSS.** Disponível em: [http://www.madehow.com/Volume-2/Dental-Floss.html#:~:text=2%20To%20produce%20a%20Teflon,polytetrafluoroethylene%20\(PTFE\)%20is%20formulated](http://www.madehow.com/Volume-2/Dental-Floss.html#:~:text=2%20To%20produce%20a%20Teflon,polytetrafluoroethylene%20(PTFE)%20is%20formulated). Acesso em: 30 jul. 2021.

HUANG, B.; GAO, X.; XU, X.; SONG, J.; GENG, Y.; SARKIS, J.; FISHMAN, T.; KUA, H.; NAKATANI, J. **A Life Cycle Thinking Framework to Mitigate the Environmental Impact of Building Materials.** One Earth, [S.L.], v. 3, n. 5, p. 564-573, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.oneear.2020.10.010>.

IDESAM. **Calculadora.** 2021. Disponível em: <https://idesam.org/calculadora/>. Acesso em: 29 set. 2021.

IMARC GROUP. **Sanitary Napkin Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2021-2026.** 2021. Disponível em: <https://www.imarcgroup.com/sanitary-napkin-market>. Acesso em: 30 jul. 2021.

IPEA. **Apenas 13% dos resíduos sólidos urbanos no país vão para reciclagem: estudo do IPEA traz dados sobre a reciclagem no brasil e a forma de organização dos trabalhadores desse segmento.** Disponível

em:https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29296:apenas-13-dos-residuos-urbanos-no-pais-vao-para-reciclagem&catid=1:dirur&directory=1 Acesso em: 10 jul. 2021.

JARDIM, J. J.; ALVES, L. S.; MALTZ, M. **The history and global market of oral home-care products.** Brazilian oral research, v. 23, p. 17-22, 2009.

JOHNSON & JOHNSON. **A história do *Bandaïd*.** Disponível em: <https://www.jnjbrasil.com.br/bandaiboxhistoria>. Acesso em: 09 jul. 2021.

LIFE CYCLE INITIATIVE. **What is Life Cycle Thinking?** Disponível em: <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/what-is-life-cycle-thinking/>. Acesso em: 09 jul. 2021.

LIPOR. **Prevenção.** 2021. Disponível em: <https://www.lipor.pt/pt/valorizar/prevencao/>. Acesso em: 20 maio 2021

LIU, P.; MENG, F.; BARLOW, C. Y. **Wind turbine blade end-of-life options: an eco-audit comparison.** Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 212, p. 1268-1281, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.043>.

LUTTROP, C.; LAGERSTEDT, J. **EcoDesign and The Ten Golden Rules: generic advice for merging environmental aspects into product development.** Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 14, n. 15-16, p. 1396-1408, jan. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2005.11.022>.

LYNE, A.; ASHLEY, P.; SAGET, S.; COSTA, M. P.; UNDERWOOD, B.; DUANE, B. **Combining evidence-based healthcare with environmental sustainability: using the toothbrush as a model.** British Dental Journal, [S.L.], v. 229, n. 5, p. 303-309, set. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41415-020-1981-0>

MARKET RESEARCH. **Sanitary Pads (Feminine Hygiene) Market in Brazil - Outlook to 2025; Market Size, Growth and Forecast Analytics (updated with COVID-19 Impact).** Disponível em: <https://www.marketresearch.com/GlobalData-v3648/Sanitary-Pads-Feminine-Hygiene-Brazil-14518245/>. Acesso em: 27 jul. 2021.

MARKET WATCH. **Adhesive Bandages Market Size 2021**. Disponível em: <https://www.marketwatch.com/press-release/adhesive-bandages-market-size-2021-with-a-cagr-of-36-top-companies-data-report-covers-market-specific-challenges-brief-analysis-and-application-growth-by-2025-2021-05-05>. Acesso em: 30 jul. 2021.

MORDOR INTELLIGENCE. **DENTAL FLOSS MARKET - GROWTH, TRENDS, COVID-19 IMPACT, AND FORECASTS**. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/dental-floss-market>. Acesso em: 20 jul. 2021.

MUNDO ESTANHO. **Quem inventou o absorvente higiênico**. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/quem-inventou-o-absorvente-higienico/>. Acesso em: 09 jul. 2021.

MUNDO ESTRANHO. **Quem inventou o Bandaid**. Disponível em: <https://super.abril.com.br/mundo-estranho/quem-inventou-o-band-aid/>. Acesso em: 09 jul. 2021.

NBR ISO 14040. **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. 2001**. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-14.040-Gest%C3%A3o-Ambiental-avaliac%C3%A3o-do-ciclo-de-vida-principios-e-estrutura.pdf> >. Acesso em: 09 jul. 2021

OLIVEIRA, L.; NEIMAN, Z. **EDUCAÇÃO AMBIENTAL NO ÂMBITO ESCOLAR: ANÁLISE DO PROCESSO DE ELABORAÇÃO E APROVAÇÃO DA BASE NACIONAL COMUM CURRICULAR (BNCC)**. Revbea, UNIFESP. São Paulo, V. 15, No3:36-52, 2020.

PETIT-BOIX, A.; LLORACH-MASSANA, P.; SANJUAN-DELMÁS, D.; SIERRA-PÉREZ, J.; VINYES, E.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J.; SANYÉ-MENGUAL, E. **Application of life cycle thinking towards sustainable cities: a review**. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 166, p. 939-951, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.08.030>.

PIGOSSO, D. C.A.; ROZENFELD, H.; MCALOONE, T. C.. **Ecodesign maturity model: a management framework to support ecodesign implementation into**

manufacturing companies. Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 59, p. 160-173, nov. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.06.040>.

RESEARCH AND MARKETS. **Dental Floss (Oral Hygiene) Market in Brazil - Outlook to 2025; Market Size, Growth and Forecast Analytics.** Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/reports/5332558/dental-floss-oral-hygiene-market-in-brazil>. Acesso em: 29 jul. 2021.

RESEARCH AND MARKETS. **Global Cotton Buds Market Size, Market Share, Application Analysis, Regional Outlook, Growth Trends, Key Players, Competitive Strategies and Forecasts, 2018 To 2026.** Disponível em: <https://www.researchandmarkets.com/reports/4575952/global-cotton-buds-market-size-market-share>. Acesso em: 23 jul. 2021.

RICHARD A. POWELL, H. M. SINGLE, **Focus Groups**, International Journal for Quality in Health Care, Volume 8, Issue 5, 1996, Pages 499–504, <https://doi.org/10.1093/intqhc/8.5.499>.

ROMLI, A.; PRICKETT, P.; SETCHI, R.; SOE, S. **Integrated eco-design decision-making for sustainable product development.** International Journal Of Production Research, [S.L.], v. 53, n. 2, p. 549-571, 18 set. 2014. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2014.958593>.

ROSSI, M.; GERMANI, M.; ZAMAGNI, A. **Review of ecodesign methods and tools. Barriers and strategies for an effective implementation in industrial companies.** Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 129, p. 361-373, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.051>.

SHARMA, S.; SHARMA, R.; SHARMA, S. S. A.; AHMED, T.; SACHDEVA, D. **Evaluation of Proteolytic activity of commercial shampoo-A preliminary study.** Research Journal of Topical and Cosmetic Sciences, v. 5, n. 1, p. 5, 2014.

SOUSA, I.; WALLACE, D. **Product classification to support approximate life-cycle assessment of design concepts.** Technological Forecasting And Social Change, [S.L.], v. 73, n. 3, p. 228-249, mar. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2004.03.007>.

TRÜEB, R. M. **Shampoos: ingredients, efficacy and adverse effects.** Journal of the German Society of Dermatology, [S.L.], v. 5, n. 5, p. 356-365, maio 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1610-0387.2007.06304.x>.

WALKER, K.; YU, X.; ZHANG, Z. **All for one or all for three: empirical evidence of paradox theory in the triple-bottom-line.** Journal Of Cleaner Production, [S.L.], v. 275, p. 122881, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122881>

WEISSFELD, A. S. **The History of Tampons: from ancient times to an fda-regulated medical device.** Clinical Microbiology Newsletter, [S.L.], v. 32, n. 10, p. 73-76, maio 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinmicnews.2010.04.003>.

WILLOCX, M.; DUFLOU, J.R. **Combining bio-inspiration and ecodesign.** Procedia Cirp, [S.L.], v. 98, p. 595-600, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.160>.

WINSTON, W.; MIINTU-WIMSATT, A.T. **Environmental Marketing: Strategies, Practice, Theory, and Research.** (1a ed.). Routledge, 1995. <https://doi.org/10.4324/9780203058398>

WWF BRASIL. **Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico.** 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-que-mais-gera-lixo-plastico>. Acesso em: 10 jul. 2021.

ZANOLA, F. A.; FERREIRA, A. C.; ANTUNES, L. G. R.; VIEIRA, L. R.; BOAS, L. H. B. V. **Por dentro do copinho: consumo simbólico e identitário das consumidoras de coletor menstrual.** Revista Brasileira de Marketing, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 361-387, 29 jul. 2020. University Nove de Julho. <http://dx.doi.org/10.5585/remark.v19i2.17774>.