CENTRO UNIVERSITÁRIO FEI
ISABELLE MONFRINATTI MACARRÃO

ANÁLISE DA AUDITORIA ECOLÓGICA DO ÓXIDO DE ZINCO NO AGRONEGÓCIO

São Bernardo do Campo
2020

ISABELLE MONFRINATTI MACARRÃO

ANÁLISE DA AUDITORIA ECOLÓGICA DO ÓXIDO DE ZINCO NO AGRONEGÓCIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário FEI como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais. Orientado pelo Prof. Dr. Júlio César Dutra.

São Bernardo do Campo

2020

Isabelle Monfrinatti Macarrão

ANÁLISE DA AUDITORIA ECOLÓGICA DO ÓXIDO DE ZINCO NO AGRONEGÓCIO

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao Centro Universitário FEI, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Comissão Julgadora

Orientador e presidente: Prof. Dr. Júlio César Dutra

Examinadora: Eng.a Camile Paula Theodoro

Examinadora: Professora Dr.a Patrícia Shmid Calvão

São Bernardo do Campo

19 de junho de 2020

Á minha mãe Denise e ao meu pai Leonardo que sempre me apoiaram e estiveram incentivando essa jornada. À Claudia que me inspirou em estudar e explorar esse tema.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Júlio César Dutra, pelo apoio integral no desenvolvimento do trabalho, pelo compromisso e seriedade, pela liberdade para expressar as ideias e conduzir da melhor forma possível.

Às pessoas responsáveis por permitir a visita técnica à planta produtiva do óxido de zinco na Nexa Recursos Minerais S.A. Foram sempre pacientes, dedicadas e muito profissionais, por toda recepção nessa jornada, pelas explicações e auxílios com informações importantes: Marcos Guilherme Correa Avila, José Luiz de Magalhães, Osvaldo Pereira de Castro Junior, Camile Paula Theodoro.

Especialmente, gostaria de ressaltar todo apoio que tive da Claudia Romano Santos que sempre esteve ao meu lado e contribuiu com meu desenvolvimento profissional e pessoal nesse tempo de convivência.

Aos meus colegas de trabalho que compreenderam a importância do trabalho, contribuíram para a complementação dele com sugestões, críticas e empréstimo de livros e materiais úteis para as minhas referências.

Trabalho não é feito sozinho e por isso gostaria de agradecer a todos meus amigos que participaram desse trabalho direta ou indiretamente, entenderam a grandiosidade dessa jornada, estiveram junto a mim, me apoiando, conversando, sugerindo e auxiliando em todas as etapas.

Ao Centro Universitário FEI por ceder o acesso ao programa CES EduPack® e pelas aulas concedidas pela Profª. Dra. Daniella Caluscio dos Santos.

Por fim, gostaria de agradecer aos meus pais Leonardo e Denise com quem convivi ativamente durante toda a extensão do trabalho e da minha vida e carinhosamente me apoiando e compreendendo sempre. Especialmente obrigada ao meu pai pela revisão do texto, críticas e sugestões.

“Num mundo inundado de informações irrelevantes, clareza é poder. Em teoria, qualquer um pode se juntar ao debate sobre o futuro da humanidade, mas é muito difícil manter uma visão lúcida.” (HARARI, 2018).

RESUMO

O setor da agricultura e agronegócio evoluiu, de forma global, para um patamar altamente diversificado, variando suas operações entre pequenas fazendas de subsistência a grandes explorações multinacionais. Embora as taxas de urbanização ainda estejam em uma escala ascendente, milhões de empreendedores rurais se dedicam ao cultivo, criação e preservação dos recursos naturais. Além disso, as perspectivas para esse setor são positivas devido às características e diversidades do Brasil, tanto no quesito clima quanto solo, possuindo ainda áreas agricultu ráveis altamente férteis e inexploradas. Dentre as principais atividades econômicas atreladas ao agronegócio se encontra o mercado de fertilizantes. Esses produtos são compostos de diversos macro e micronutrientes essenciais à vida de todos os seres vivos, seja nas plantas, na alimentação dos animais e dos seres humanos. O zinco é um desses micronutrientes essenciais e uma das formas dele ser incorporado nos fertilizantes é como óxido de zinco. O presente trabalho se justifica nesse contexto, pois se preocupa em caracterizar, do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, toda a cadeia de produção e transporte do óxido de zinco no setor do agronegócio. Pretendeu-se classificar e estabelecer uma auditoria ecológica desse composto e ainda explorar os cinco passos de Michael Ashby envolvendo a discussão sobre o tema da sustentabilidade com o recorte dos dias atuais. O programa utilizado para realização da auditoria ecológica foi o CES EduPack®; assim, foi feita uma simulação preliminar a fim de reunir todas as informações necessárias. Em seguida foi realizada uma visita técnica à planta de uma das principais empresas produtoras de óxido de zinco no Brasil, a Nexa Recursos Minerais S.A., localizada na cidade de Três Marias em Minas Gerais, para coleta das informações faltantes. De acordo com as possibilidades produtivas percebeu-se a necessidade de realizar a simulação final considerando seis cenários distintos. Percebeu-se que o cenário composto apenas por material reciclado (borra de zinco) para alimentação dos fornos foi o que gastou menos energia de todos e emitiu a menor quantidade em geral de pegada de carbono. Já o cenário composto apenas por zinco puro (SHG) na alimentação dos fornos foi o que mais gastou energia e mais emitiu pegada de carbono. Por outro lado, observou-se que em todas as simulações a coluna de gasto/emissão com transporte foi a maior e a coluna de manufatura e uso (que no caso do presente trabalho lê-se como processamento) se mantiveram estáveis.

Palavras-chave: óxido de zinco. auditoria ecológica. caracterização. sustentabilidade.

ABSTRACT

Agriculture and agribusiness sectors have evolved, globally, to a highly diversified level, varying their operations from small subsistence farms to large multinational ones. Although urbanization rates are still increasing, millions of rural entrepreneurs are dedicated to cultivation, creation, and preservation of natural resources. In addition, the prospects for this sector are positive due to the characteristics and diversities of Brazil, both in terms of climate and soil, in which there are still highly fertile and unexplored agricultural areas. Among the main economic activities linked to agribusiness is the fertilizer market. These products are composed of several macronutrients and micro ones essential to life of all living beings, whether in plants or feeding animals and humans. Zinc is one of those essential micronutrients and one of the ways in which it is incorporated into fertilizers as zinc oxide. The present work is justified in this context, as it is concerned with characterizing, from the sustainable development viewpoint, the entire chain of production and transportation of zinc oxide on the agribusiness sector. It is intended to classify and establish an ecological audit of this compound and explores Michael Ashby's five steps concerning discussions about sustainable development to the present day. CES EduPack® software was used to audit ecologically the whole process, but a preliminary simulation was carried out to gather all the required information. Then, a technical visit took place in one of the main zinc oxide producers in Brazil, Nexa Recursos Minerais S.A., which is in the city of Três Marias in Minas Gerais to collect the needed information. According to production possibilities, simulation was investigated with six different scenarios. On the one hand, it was noticed that the scenario composed only of recycled material (zinc sludge) for furnace feeding was the one that spent the least energy of all and had the lowest carbon footprint. On the other hand, a scenario composed only of pure zinc (SHG) was the one that spent more energy and generated the highest carbon footprint. It was also observed that in all simulations transport was the highest consumer of energy and carbon footprint and use (which in our case must be read as processing) remained stable.

Keywords: zinc oxide. eco-audit. characterization. sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Evolução de preços correntes no setor agropecuário no Brasil, em milhões de reais, entre os anos de 1996 e 2018. 11
Figura 2 – Evolução do produto interno bruto (PIB) a preços de mercado com valores correntes em milhões de reais entre os anos de 1996 e 2018. 12
Figura 3 – Recurso de uso de carne bovina à base de células em % de carne bovina produzida. 17
Figura 4 – Consumo setorial do zinco no mundo, em porcentagem, no ano de 2011. 20
Figura 5 – Evolução na produção de zinco concentrado em mil toneladas/ano entre os anos de 2000 e 2011 no Brasil e no mundo. 21
Figura 6 – Evolução do preço médio anual do zinco, em US$/tonelada, entre os anos de 2002 e 2011. 21
Figura 7 – Evolução na quantidade de fertilizantes agrícolas no Brasil, em milhões de reais, entre os anos de 2009 e 2020 (este último uma projeção). 23
Figura 8 – Desenho esquemático de um modo das plantas absorverem os micronutrientes. 26
Figura 9 – Tipos de solos e sua distribuição nas regiões do globo, com destaque para histossolos e vertissolos. 28
Figura 10 – Representação em cores das regiões do mundo. 29
Figura 11 – Correlação da taxa de mortalidade abaixo dos 5 anos (por mil nascidos vivos) com a taxa de crescimento econômico. 30
Figura 12 – Correlação da taxa de mortalidade abaixo dos 5 anos (por mil nascidos vivos) com o uso de terras agrícolas. 31
Figura 13 – Correlação da taxa de mortalidade abaixo dos 5 anos (por mil nascidos vivos) com a pegada ecológica per capita. 32
Figura 14 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). 34
Figura 15 – Processo francês de produção do ZnO. 37
Figura 16 – Representação da estratégia de redução da emissão de gases. 41
Figura 17 – Emissões de GEE da combustão de gasolina pura, gasolina misturada com etanol e etanol puro. 42
Figura 18 – Emissões de GEE da produção ao final do ciclo de vida de um assento de material virgem e um assento 100% reciclado. 43
Figura 19 – Comparação das emissões de GEE de diferentes refeições contendo carne bovina, carne de frango, carne de porco e vegetariana. 44

Figura 20 – Pegada de Carbono dos Jogos de acordo com as referências.....45
Figura 21 – As camadas como uma maneira de pensar em um problema complexo.....47
Figura 22 – OS 3 P's reinterpretados como os três capitais. 48
Figura 23 – ODS e seu alinhamento com os três capitais. 49
Figura 24 – Lata de alumínio à esquerda e a possível substituta à direita: lata de aço. 50
Figura 25 – Seção preliminar da ferramenta de auditoria ecológica do programa CES EduPack® solicitando as informações do produto, material, manufatura e fim de vida (componentes, junção e acabamento). 53
Figura 26 – Representação do descarte e do potencial de fim de vida de acordo com a ferramenta de auditoria ecológica. 55
Figura 27 – Seção intermediária da ferramenta de auditoria ecológica do programa CES EduPack® solicitando as informações de transporte e uso do produto (processamento). 56
Figura 28 - Ilustração esquemática da análise da ferramenta Eco Audit®. 57
Figura 29 – Seção final da ferramenta de auditoria ecológica do programa CES EduPack® solicitando as informações do produto, material, manufatura e fim de vida (componentes, junção e acabamento). 60
Figura 30 – Seção final da ferramenta de auditoria ecológica do programa CES EduPack® solicitando as informações de transporte e uso do produto (processamento).....62
Figura 31 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com proporções de 50% de cada uma das matérias-primas. 63
Figura 32 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com proporções de 50% de cada uma das matérias-primas. 64
Figura 33 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 3 com proporções de 50% de borra de zinco e 50% de zinco SHG. 65
Figura 34 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 3 com proporções de 50% de borra de zinco e 50% de zinco SHG. 65
Figura 35 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. 66

Figura 36 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. 67
Figura 37 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 3 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. 67
Figura 38 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 3 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. 68
Figura 39 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com 100% de borra de zinco. 69
Figura 40 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com 100% de borra de zinco. 69
Figura 41 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 4 com 100% de zinco SHG. 70
Figura 42 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 4 com 100% de zinco SHG. 70
Figura 43 - Comparação das energias consumidas entre as baterias 1 e 3, ambas com proporções de 50% de cada uma das matérias-primas. 71
Figura 44 - Comparação das pegadas de CO_2 entre as baterias 1 e 3, ambas com proporções de 50% de cada uma das matérias-primas. 72
Figura 45 – Comparação das energias consumidas entre as baterias 1 e 3, ambas com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. 73
Figura 46 – Comparação das pegadas de CO_2 entre as baterias 1 e 3, ambas com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. 73
Figura 47 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas e 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. 74
Figura 48 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas e 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. 75
Figura 49 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 3 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas e 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. 75
Figura 50 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 3 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas e 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. 76

Figura 51 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 1 com proporção de 100% de borra de zinco e a bateria 4 com 100% de zinco SHG. 77
Figura 52 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 1 com proporção de 100% de borra de zinco e a bateria 4 com 100% de zinco SHG. 77
Figura 53 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas; 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG e 100% de borra de zinco. 78
Figura 54 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas; 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG e 100% de borra de zinco. .. 79
Figura 55 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas; bateria 3 com a mesma proporção e bateria 4 com 100% de zinco SHG. 80
Figura 56 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas; bateria 3 com a mesma proporção e bateria 4 com 100% de zinco SHG. 80
Figura 57 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 1 com proporção de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG; bateria 3 com a mesma proporção e bateria 4 com 100% de zinco SHG. 81
Figura 58 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 1 com proporção de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG; bateria 3 com a mesma proporção e bateria 4 com 100% de zinco SHG. 81
Figura 59 – Comparação da auditoria ecológica do óxido de zinco em relação a energia consumida para seis diferentes cenários. 82
Figura 60 – Comparação auditoria ecológica do óxido de zinco em relação a pegada de CO_2 para seis diferentes cenários. 84
Figura 61 - Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com proporções de 50% de cada uma das matérias-primas com destaque em vermelho para o setor que consome mais energia, o transporte. 87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificação do óxido de zinco FE.....38
Tabela 2 – Especificação do óxido de zinco FERT.....38
Tabela 3 – Cálculos realizados para alimentação do programa a fim de quantificar a auditoria ecológica do ZnO.....61

LISTA DE SIGLAS

ASTM – American Society for Testing and Materials

BPF – Baixo ponto de Fluidez

CAGR – Compound Annual Growth Rate

CEO – Chief Executive in Office

CES – Cambridge Engineering Selector

DNA- Ácido desoxirribonucleico

FAO – Food and Agricultural Organization of the United Nations

FERT – Zinco para fertilizante

GEE – Gases do efeito estufa

GHG – Greenhouse gases

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBRAM – Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Distrito Federal

ICZ – Instituto de Metais Não Ferrosos

LME – London Metal Exchange

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PET – Polietileno Tereftalato ou poli tereftalato de etila

PIB – Produto Interno Bruto

PND – Plano Nacional de Desestatização

PPI – Programa de Parcerias de Investimentos

PW – Prime Western

SHG – Special High Degree

SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática

S-LCA – Social Lyfe Cycle Assessment

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

USDA – United States Department of Agriculture

USGS – United States Geological Survey

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19
2.1 ZINCO 19
2.2 ÓXIDO DE ZINCO 22
2.2.1 Aplicações do Óxido de Zinco 22
2.2.2 Óxido de Zinco nas Plantas 24
2.2.2.1 Principais Problemas Causados nas Plantações 27
2.2.2.2 Principais Áreas Afetadas pela Deficiência do Zinco 28
2.2.3 Processo Produtivo do Óxido de Zinco 36
2.3 AUDITORIA ECOLÓGICA E PEGADA DE CARBONO 39
2.3.1 Desenvolvimento dos Conceitos 39
2.3.2 Conceitos da Ferramenta do CES Edu Pack® 45
2.4 CONCEITOS E METODOLOGIA DE ASBHY 46
2.4.1 Passos para o Desenvolvimento Sustentável 46
2.4.2.1 Estudo de Caso 50
3 METODOLOGIA 53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 60
5 CONCLUSÕES 89
5.1 BATERIA 1 COM PROPORÇÃO DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG 89
5.2 BATERIA 3 COM PROPORÇÃO DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG 89
5.3 BATERIA 1 COM PROPORÇÃO DE 70% DE BORRA DE ZINCO E 30% DE ZINCO SHG 90
5.4 BATERIA 3 COM PROPORÇÃO DE 70% DE BORRA DE ZINCO E 30% DE ZINCO SHG 90
5.5 BATERIA 1 COM 100% DE BORRA DE ZINCO 91
5.6 BATERIA 4 COM 100% DE ZINCO SHG 91
5.7 BATERIAS 1 E 3 COM PROPORÇÕES DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG 92

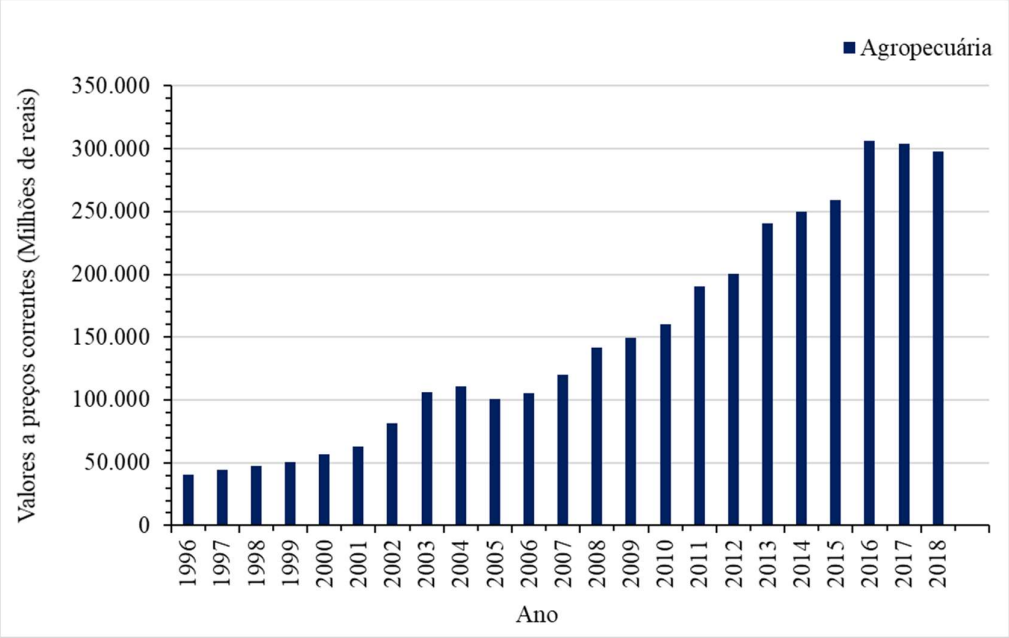
5.8 BATERIAS 1 E 3 COM PROPORÇÕES DE 70% DE BORRA DE ZINCO E 30% DE ZINCO SHG 92
5.9 BATERIA 1 COM PROPORÇÕES DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG E 70% DE BORRA DE ZINCO E 30% DE ZINCO SHG 92
5.10 BATERIA 3 COM PROPORÇÕES DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG E 70% DE BORRA DE ZINCO E 30% DE ZINCO SHG 93
5.11 BATERIA 1 TODOS OS CENÁRIOS 93
5.12 BATERIAS 1 E 3 COM PROPORÇÕES DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG E A BATERIA 4 COM 100% DE ZINCO SHG 93
5.13 CINCO PASSOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL 93
REFERÊNCIAS 95
APÊNDICE A – BATERIA 1 50/50 100
APÊNDICE B – BATERIA 3 50/50 108
APÊNDICE C – BATERIA 1 70/30 116
APÊNDICE D – BATERIA 3 70/30 124
APÊNDICE E – BATERIA 1 100 132
APÊNDICE F – BATERIA 4 SHG 140

1 INTRODUÇÃO

O setor da agricultura e agronegócio evoluiu, de forma global, para um patamar altamente diversificado, variando suas operações entre pequenas fazendas de subsistência a grandes explorações multinacionais (OECD, 2019). Embora as taxas de urbanização ainda estejam em uma escala ascendente e irreversível, milhões de empreendedores rurais se dedicam ao cultivo, criação, abastecimento, exportação e preservação dos recursos naturais (JANK; NASSAR; TACHINARDI, 2005).

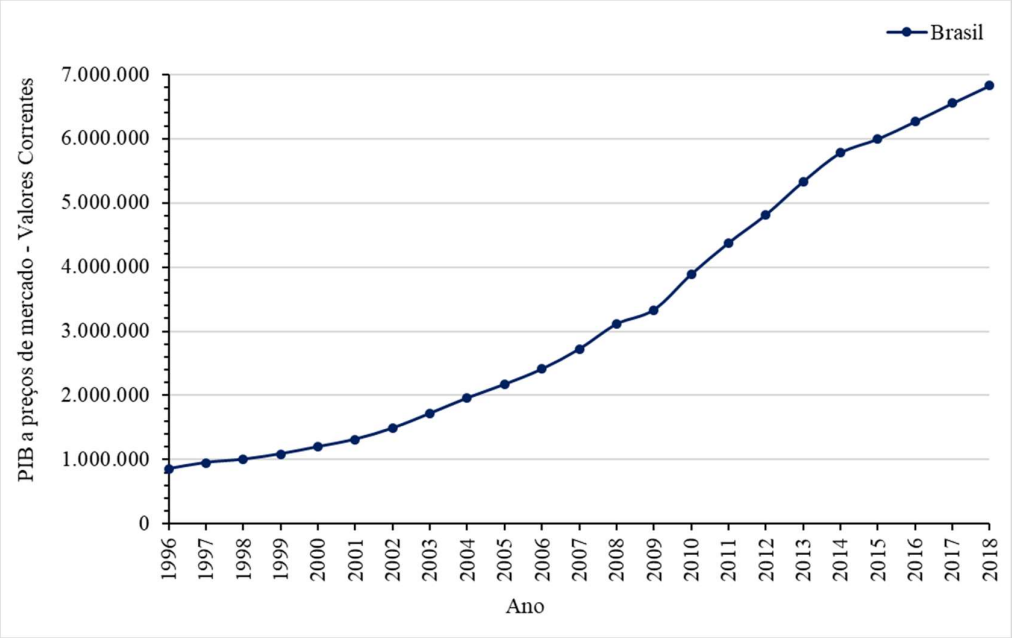
Os índices mais recentes registraram avanços quantitativos e qualitativos indicando que esse setor se mantém com uma boa capacidade empregadora e de geração de renda. A Figura 1 indica o crescimento do setor agropecuário segundo o Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA, 2018) no decorrer dos anos em milhões de reais. Assim, pode-se notar, de modo geral, um crescimento exponencial de 9,71% ao ano apesar de nos últimos três anos essa taxa estabilizar. A Figura 2 indica o PIB (Produto Interno Bruto) a preços de mercado ao decorrer dos anos envolvendo todos os setores computados. Tendo em vista o crescimento nítido nos últimos anos, é crucial que políticas agrícolas sejam estudadas de modo eficaz e com a devida seriedade para promover o desenvolvimento sustentável dessa área.

Figura 1 – Evolução de preços correntes no setor agropecuário no Brasil, em milhões de reais, entre os anos de 1996 e 2018.



Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) – Produto Interno Bruto dos Municípios.

Figura 2 – Evolução do produto interno bruto (PIB) a preços de mercado com valores correntes em milhões de reais entre os anos de 1996 e 2018.



Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) - Contas Nacionais Trimestrais.

Esse segmento produtivo contribuiu no primeiro trimestre de 2017 com 75% do PIB brasileiro e no mesmo ano o PIB agropecuário cresceu 13,4%, respondendo a 46% das exportações totais e 23,6% da produção do agronegócio (MAPA 2017/2018). Além disso, as perspectivas para esse setor são positivas devido às características e diversidades do Brasil, tanto no quesito clima, quanto solo, possuindo ainda áreas agricultáveis altamente férteis e inexploradas (REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE MEDICINA VETERINÁRIA, 2012).

Em uma visão globalizada, Piketty (2014) afirma que existem três tipos de bens: industriais, alimentares e de serviços. Os bens alimentares expandiram sua produtividade continuamente permitindo que se nutrisse uma população em forte expansão ao mesmo tempo que se liberava uma parte crescente da mão de obra agrícola para outras tarefas. Para produtos alimentares, os preços aumentaram de acordo com a média geral, como a cenoura, banana e laranja. Contudo, Piketty (2014) afirma que o setor é bastante diversificado e, por exemplo, produtos alimentares processados como leite, manteiga, ovos e laticínios, que se beneficiaram de um progresso tecnológico importante no seu processamento tiveram uma redução significativa no seu preço médio relativo.

Entretanto, no Brasil esse setor da economia compreende atividades ligadas a: insumos para a agricultura (fertilizantes), produção agrícola (lavouras, pecuária, florestas e

extrativismo), agro industrialização dos produtos primários, transporte e por fim, comercialização de produtos primários e processados (REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE MEDICINA VETERINÁRIA, 2012).

Dentre as principais atividades econômicas atreladas ao agronegócio se encontra o mercado de fertilizantes. Esses compostos são de suma importância para a produção e cultivo das principais espécies, sendo a soja a cultura que mais consome fertilizantes no Brasil, atingindo 35% do total entregue no país. Outras culturas, como milho, cana-de-açúcar, café e algodão completam o consumo de fertilizantes no mercado brasileiro. Quanto à segmentação por estado, nota-se a grande representatividade da Região Centro-Oeste com 30% desse mercado, seguida de 29% no Sudeste, 28% no Sul e 13% nas demais regiões. A representatividade da região Centro-Oeste deve-se ao fato de o estado do Mato Grosso ser o maior consumidor de fertilizantes, pois possui o maior polo agrícola brasileiro, com altas taxas de produtividade e áreas disponíveis para crescimento, tanto em pastagem quanto abertura de novas áreas (TAVARES; HABERLI JUNIOR, 2018).

Para a produção dos fertilizantes utilizados no cultivo de culturas como milho, soja e trigo são necessários diversos compostos, entre eles o zinco, mas o foco do presente trabalho se encontra no óxido de zinco. O íon de zinco é um cofator nas reações enzimáticas e, portanto, participa de diversos ciclos bioquímicos das plantas, incluindo fotossíntese e formação de açúcar, síntese de proteínas, fertilidade e produção de sementes, regulagem do crescimento e defesa contra doenças. Entretanto, por ser usado em quantidades infinitesimais, é considerado um micronutriente para as plantas, sendo essencial para a saúde, crescimento e reprodução desses seres vivos (AIRES, 2009).

Estudo conduzido pela Organização de Alimentos e Agricultura (FAO), da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), indicou que a deficiência em zinco é uma das mais comuns no mundo, afetando as funções bioquímicas e impedindo que a planta se desenvolva corretamente. Os resultados implicam em colheitas com qualidade inferior e menor rendimento da produção. As espécies de plantas mais afetadas pela deficiência de zinco são lavouras de grãos (arroz, trigo, milho, sorgo etc.), diversas árvores frutíferas (espécies cítricas, maçã, goiaba, abacaxi etc.), sementes oleaginosas (nozes, avelãs etc.), cana-de-açúcar, café, cenoura, batata e tomate (AIRES, 2009).

Em janeiro de 2020 ocorreu o Fórum Econômico Mundial em Davos, na Suíça, que proporcionou palco para diversos líderes mundiais debaterem questões importantes para a humanidade. Entre eles, o filósofo e historiador israelense Yuval Noah Harari participou de um discurso com o tema “Como sobreviver ao século XXI”. Neste discurso, ele expõe seu ponto

de vista em relação aos três principais problemas da humanidade atualmente: a guerra nuclear, o colapso ecológico e o rompimento tecnológico.

Seu discurso repousou sobre a preocupação iminente das ditaduras digitais que vêm crescendo cada vez mais, principalmente com o avanço da inteligência artificial e assim, refletiu sobre as pessoas precisarem se reinventar a cada nova invenção com o intuito de manter os empregos e a renda. Mas em contrapartida haverá aqueles que não atingirão a reinvenção com a velocidade necessária e de certa forma serão classes inúteis economicamente, sendo assim, excluídas pela elite que se tornará ainda mais detentora do poder.

Ainda no discurso de Davos 2020, Harari afirma que é possível tomar atitudes para impedir certos colapsos, mas é necessário cooperação global, pois nenhuma nação tem a capacidade de prevenir uma guerra nuclear ou parar o colapso ecológico sozinha. São "problemas globais que demandam soluções globais".

O tema ecológico vem sendo discutido por Harari há tempos e em seu livro denominado "21 lições para o século 21" ele afirma que os seres humanos estão desestabilizando a biosfera global em múltiplas frentes e extraindo cada vez mais recursos do meio ambiente, além de despejar nele quantidades enormes de lixo e veneno, mudando a composição do solo, da água e da atmosfera (HARARI, 2018).

Harari (2018) ressalta a dualidade do século XXI ao refletir sobre os fosfatos também usados como fertilizantes, ou seja, em pequenas quantidades, eles são essenciais para o solo, mas em quantidades excessivas, tornam-se tóxicos. Isso ocorre também com o zinco. A agricultura industrial moderna baseia-se em fertilizar artificialmente os campos com fosfato, mas a grande quantidade dessa substância que escorre das fazendas pode envenenar rios, lagos e oceanos. Por esse motivo, a reflexão é tão importante e por isso se deve compreender melhor os impactos causados por esses fertilizantes.

Proporcionando outras visões a respeito da sustentabilidade no século atual, o livro "Capitalismo e Colapso Ambiental" escrito por Luiz Marques e revisado em 2018, aborda algumas teses no capítulo "A ilusão de um capitalismo sustentável":

> Primeira tese: a ilusão de que o capitalismo pode se tornar ambientalmente "sustentável" é a mais extraviadora do pensamento político, social e econômico contemporâneos. Segunda tese: essa primeira ilusão nutre-se de uma segunda e uma terceira. A segunda ilusão (...) é a crença tenaz – razoável outrora, mas hoje definitivamente falaciosa – de que quanto mais excedente material e energético formos capazes de produzir, mais segura (e feliz) será nossa existência. Essas duas ilusões alicerçam-se da ilusão antropocêntrica (MARQUES FILHO, 2018).

Além disso, o autor afirma que "esse nível de aquecimento considerado "catastrófico", implica provavelmente aquecimentos sucessivos e, portanto, um colapso ambiental de

proporções incompatíveis com nossas sociedades organizadas", assim, reitera as ideias de Yuval ao se tratar de um possível colapso.

O tema do desenvolvimento sustentável discutido por Harari (2018), Marques Filho (2018) e no evento da Davos 2020 se faz importante, inclusive, por ser citado em vários Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) dado pela Organização das Nações Unidas (ONU). Um deles é o ODS 13 que ressalta a "Ação contra mudança global do clima" que visa reforçar a resiliência e capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países bem como integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais e melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre a redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima (ONU, 2015).

Em adição, Marques Filho (2018) discute as propostas de Nicholas Stern e Felipe Calderón em relação à insustentabilidade ambiental do capitalismo, afirmando que "uma corporação não levará em consideração o impacto do aquecimento global em suas tomadas de decisão de investimento sempre que esse impacto conflitar com a razão de ser do investimento: a expectativa da rentabilidade de curto prazo". Da mesma forma, Piketty (2014) ressalta que o crescimento do capital se dá a longo prazo e quando a estrutura do consumo e dos preços relativos se modifica radicalmente, sobretudo à medida que surgem novos bens e serviços, esses índices de preços médios não permitem dar conta das transformações que ocorrem.

Outra proposta que Marques Filho (2018) contesta é de que haverá uma redução substancial nos custos dos investimentos em infraestrutura de baixo carbono, pois afirma que as projeções indicam que essa redução do consumo de gás e petróleo não ocorrerá nos próximos decênios e ainda que o consumo de carvão voltou a crescer.

A proposta de multiplicar as despesas em pesquisa e em desenvolvimento das tecnologias de baixo carbono até meados dos anos 2020 também está equivocada, visto que já se atinge essa data e com exceção talvez da China e da Índia, não há expectativa global de triplicação da alocação de recursos para tais pesquisas, observando, pelo contrário a estagnação ou redução dessas despesas nos Estados Unidos, Europa e Brasil (MARQUES FILHO, 2018).

Por fim, as outras duas propostas mais relevantes abordadas são: deter o desmatamento global das florestas primárias até 2030 e restaurar ao menos 500 milhões de hectares de florestas e solos agricultáveis degradados. Marques Filho (2018) afirma que há uma limitação do reflorestamento a poucas espécies exóticas que são consideradas insumos para a indústria. Além disso, o solo continua sendo degradado e continuará nesse caminho enquanto houver o paradigma do agronegócio:

> Uma agricultura tóxico-intensiva de commodities fortemente orientada para a exportação, com diminuição da autossuficiência alimentar em um número crescente de países; e uma alimentação baseada no carnivorismo, evidentemente insustentável, além de indefensável em termos éticos (...) (MARQUES FILHO, 2018).

Nesse recorte da cultura da alimentação dos seres humanos, José Graziano da Silva, secretário-geral da FAO (*Food and Agricultural Organization of the United Nations)*, declarou em 2015 que os sistemas alimentares devem ser mais sustentáveis, inclusivos e resilientes e essa mudança implica em abandonar o carnivorismo visto que o consumo de carne é um dos fatores para as mudanças climáticas (MARQUES FILHO, 2018).

Na série documental da plataforma Netflix® intitulada “Explicando” há um episódio sobre “O futuro da Carne” e nele é possível compreender os motivos pelos quais a humanidade não possui recursos para manter o carnivorismo. Os argumentos envolvem dados estatísticos que comprovam que são mortos 75 bilhões de animais por ano para o consumo e nos últimos 50 anos a quantidade de carne consumida quadruplicou enquanto a população apenas duplicou. “Se o mundo todo comesse tanta carne quanto os países que mais a consomem, todo metro quadrado de terra habitável teria de ser usado para a alimentação e não haveria espaço suficiente” (Global Environmental Chance, 2016 apud EXPLICANDO - O futuro da carne, 2019). Por esse motivo é imprescindível que as pessoas tenham em mente que os animais destinados ao consumo prejudicam a vida da população e do meio ambiente:

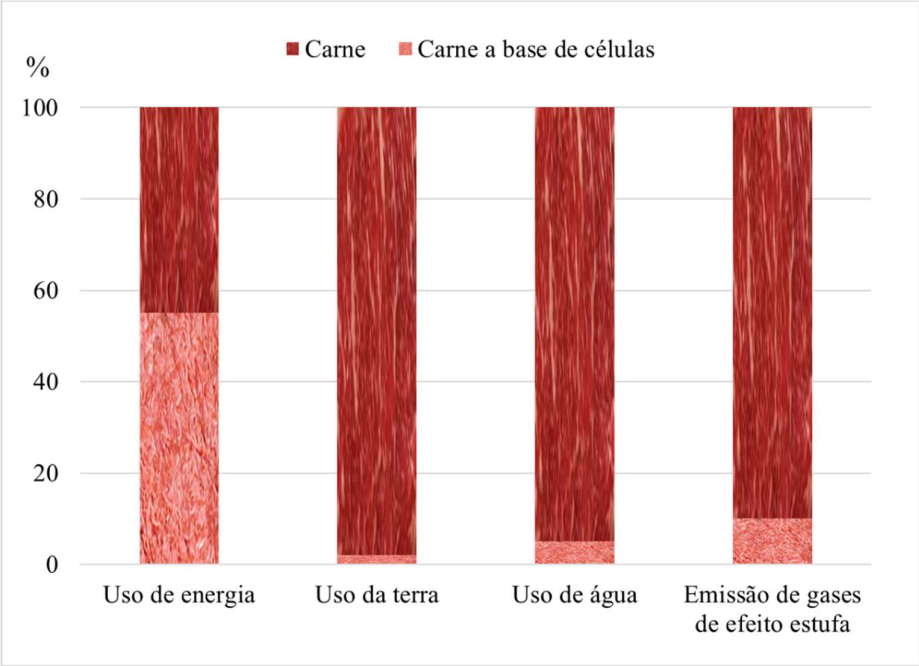
Do mesmo lado, a série documental aborda a preocupação das nações mais desenvolvidas a respeito do meio ambiente enquanto o restante do mundo ainda está focado em possuir uma boa alimentação para toda sua população.

> “Ainda que o consumo de carne tenha estabilizado em países ricos, está aumentando em economias emergentes. O que acontece é que 20% do mundo que come muita carne está se preocupando cada vez mais com o efeito de comer carne e 80% do mundo que está preocupado apenas com conseguir boa alimentação está aumentando" (EXPLICANDO - O futuro da carne, 2019).

Outro ponto crucial envolve a possibilidade que o avanço da tecnologia proporciona de desenvolver carnes por meio do cultivo das células animais fora do corpo vivo, mas em laboratórios. Quando e se essas carnes laboratoriais forem comercializadas da mesma forma que se é comercializada a carne dos animais atualmente, o processo todo pode usar metade da energia de produção da carne, uma fração pequena de terra e água e ainda reduzir bastante as emissões de gases de efeito estufa. O gráfico da Figura 3 ilustra essa realidade da mesma forma

que o CES EduPack®[1] proporciona as análises ao gerar essas relações pela sua ferramenta Eco Audit® como será abordada na metodologia e resultados e discussão do presente trabalho.

Figura 3 – Recurso de uso de carne bovina à base de células em % de carne bovina produzida.



Fonte: Autora, “adaptado de” O FUTURO DA CARNE, 2019.

Em conclusão, a reflexão engloba a ideia da impossibilidade das corporações de se subordinar ao imperativo ambiental pois é impossível "internalizar" os custos dos danos ambientais crescentes que elas "socializam" porque é impossível para as corporações internalizar seu custo ambiental já que o valor total gerado por sua atividade é, com frequência, menor que o valor econômico do patrimônio da biosfera destruído por essa atividade. Para reiterar, o relatório elaborado para o *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* intitulado *Natural Capital at Risk. The top 100 externalities of business* conclui que nenhum setor regional de alto impacto gera lucros suficientes para cobrir seus impactos ambientais (MARQUES FILHO, 2018).

Em termos gerais, apesar de Marques Filho (2018) criticar e colocar em prova a dualidade da sustentabilidade e do lucro, essas propostas não são excludentes uma da outra, ou seja, ainda que os problemas sejam de natureza global, o próprio globalismo tem feito com que as empresas possuam uma espécie de “agenda verde” assim como seus investidores, o que pode

[1] A marca CES Edupack® é agora denominada Ansys Granta Edupack®, por conta da sua venda para a Ansys em 2019. O trabalho, no entanto, usou a versão de 2019, razão pela qual o primeiro nome foi mantido.

contribuir, de certo modo, para que as atividades de natureza capitalista evitem, ou pelo menos diminuam, as agressividades ao planeta sem necessariamente diminuir ou parar o crescimento econômico.

É nesse contexto que o presente trabalho se justifica, ou seja, com a preocupação em caracterizar, do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, toda a cadeia de produção e transporte do óxido de zinco no setor do agronegócio. Pretende-se classificar e estabelecer uma auditoria ecológica desse composto e eventualmente propor melhorias no processo ou na cadeia de produção e comercialização do óxido de zinco. Por fim, o trabalho explora os cinco passos de Michael Ashby envolvendo as discussões abordadas sobre o tema da sustentabilidade com o recorte dos dias atuais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item serão apresentadas as características gerais do zinco e óxido de zinco que são os objetos de estudo, bem como suas propriedades, aplicações, descrição técnica e estudo das influências em todos os seres vivos e análise ecológica sustentada por Ashby (2016).

2.1 ZINCO

O zinco é um metal de transição que pode ser encontrado no estado sólido à temperatura ambiente, em ambientes naturais como na água e no solo ou encontrado na forma de sulfeto de zinco (ZnS) em minerais conhecidos como esfalerita (67% de zinco contido) e hemimorfita (54,20% de zinco contido). Esse elemento é o 23º elemento mais comum na crosta terrestre e possui características similares aos metais alcalinos terrosos como o magnésio e o cádmio (ANJOS; OLIVEIRA; BRASIL, 2016)

As propriedades do zinco envolvem seu baixo ponto de fusão, fluidez, capacidade para tratamento de superfícies e reatividade com o ferro, mas, de modo geral a principal característica na indústria é sua alta resistência à corrosão. A capacidade superior de formar uma camada passiva que protege o material, proporciona maior vida útil ao aço e por isso os materiais galvanizados são utilizados em construções civis, meios de transportes – principalmente a indústria automotiva, infraestruturas e eletrodomésticos.

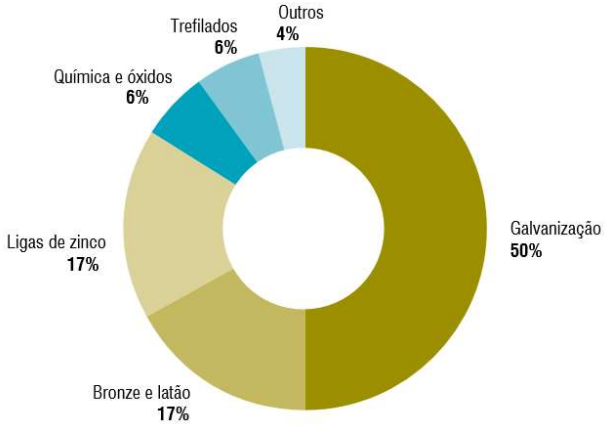
Estima-se que cerca de 4% do PIB brasileiro é utilizado em manutenção de edifícios e patrimônios, assim, se a cultura da galvanização no Brasil fosse mais efetiva, esse dinheiro gasto seria utilizado em outras áreas. Ou seja, se os metais usados em construções, por exemplo, fossem galvanizados, a quantidade de manutenções seria menor e haveria uma economia nesse segmento. Um exemplo claro é a Torre Eiffel que foi submetida a 17 manutenções ao longo dos anos, mas, se fosse galvanizada, esse número diminuiria para 7 manutenções apenas (SYMBIA, 2019).

Além disso, o zinco adequa-se à fabricação de telhas metálicas, tintas ricas em zinco, fundição sob pressão e por gravidade, ligas de alumínio, magnésio, latão (liga cobre-zinco) e em baterias. Outra liga bastante comum é a liga de zamac que é uma composição do zinco, alumínio (3,9 – 4,3%), magnésio (0,03 – 0,06%) e cobre (até 3,3%) (ASTM, 2017). Sendo assim, é possível que seja 100% reciclado (desde que não tenha recebido os tratamentos de superfície da galvanoplastia) e ainda dispensa etapas de usinagem se fundido em um molde bem projetado. As aplicações desse material envolvem peças do cinto de segurança dos

automóveis, maçanetas, fechaduras, componentes do para-brisas e estruturas de playgrounds, para citar alguns. (ICZ, 2019; SYMBIA, 2019)

Para proteger tubulações, tanques de estocagem de gás e combustíveis, plataformas de petróleo, navios e vergalhões de aço em concreto armado é muito usada a proteção catódica e um dos métodos mais empregados é a utilização do zinco como ânodo de sacrifício. O princípio se baseia em levar o potencial de corrosão do equipamento a proteger para valores correspondentes à imunidade do material. Nesse caso, o potencial adequado é alcançado devido ao contato elétrico entre o metal a proteger e o zinco que possui potencial de corrosão inferior no meio onde é colocado. É necessário que o Zn seja bastante puro, principalmente isento de Fe e Cu, tendo em vista que estes elementos aumentam a reação catódica do hidrogênio sobre o metal (URFGS, 2020). A Figura 4 indica o consumo do zinco no mundo em 2011

Figura 4 – Consumo setorial do zinco no mundo, em porcentagem, no ano de 2011.

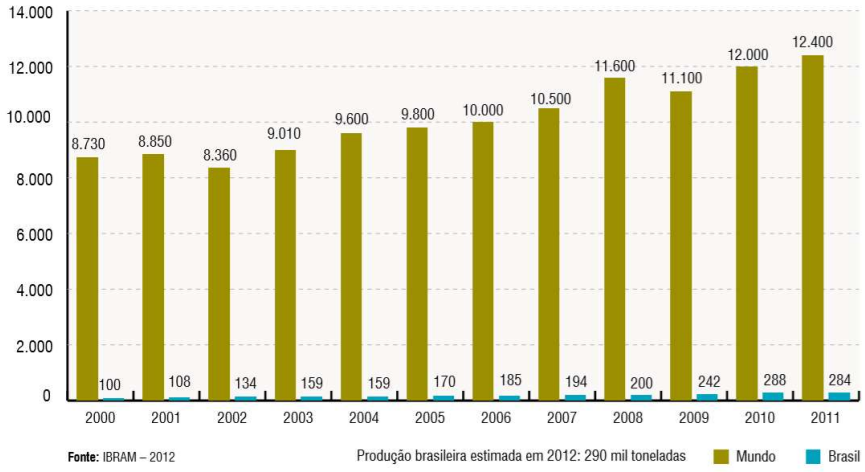


Fonte: Autora, “adaptado de” IBRAM, 2019, p.1

Em termos de produção mundial, o Brasil é o décimo segundo maior produtor de minério de zinco, aproximadamente 284,4 mil toneladas de concentrado em 2011, representando 2,3% da produção mundial, de 12,4 milhões de toneladas. A China é a maior produtora, com 4,3 milhões de toneladas métricas em 2019 ou 40,8% da produção global. Na sequência, vêm o Peru com 13,3% e a Austrália com 12,3% (U.S. GEOLOGICAL SURVEY, 2020). As reservas de zinco no Brasil alcançam 6,5 milhões de toneladas (medida + indicada + inferida), a maioria no Estado de Minas Gerais (88%) e o restante está distribuído nos estados de Mato Grosso, Paraná e Pará. As duas maiores minas de zinco se encontram em Morro Agudo e Vazante e pertencem a Nexa Recursos Minerais S.A e as principais metalúrgicas, ou seja, as refinarias que processam o minério em produto acabado estão localizadas em Três Marias e

Juiz de Fora. A Figura 5 indica a produção de zinco de 2000 até 2011 comparando o Brasil e o mundo (IBRAM, 2019).

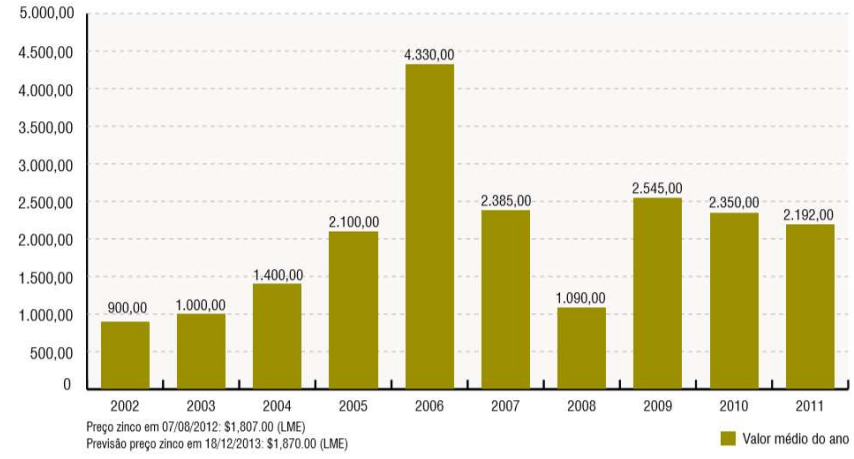
Figura 5 – Evolução na produção de zinco concentrado em mil toneladas/ano entre os anos de 2000 e 2011 no Brasil e no mundo.



Fonte: Autora, “adaptado de” IBRAM, 2019, p.2

Em relação ao preço desse minério, ele varia de acordo com a Bolsa de Valores de Londres (London Metal Exchange - LME) e com o dólar vigente, assim a Figura 6 representa o preço médio em dólares por tonelada desde 2002 até 2011. No ano de 2019 a média do preço do zinco fechou em aproximadamente U$3825,00/ton.

Figura 6 – Evolução do preço médio anual do zinco, em US$/tonelada, entre os anos de 2002 e 2011.



Fonte: Autora, “adaptado de” IBRAM, 2019, p.3

2.2 ÓXIDO DE ZINCO

O zinco em forma de óxido possui aplicações diversas e diferentes das apresentadas em sua forma metálica, por esse motivo é importante ter em vista suas funções para se entender as diferentes propriedades atreladas na forma de partículas finas.

2.2.1 Aplicações do Óxido de Zinco

O óxido de zinco é um composto comercializado em pó e possui até 80% de teor de zinco, podendo conter quantidades de chumbo, ferro, cádmio, cobre e outros elementos na ordem de partes por milhão (ppm). Em geral, a área superficial das partículas varia entre 4 e 7 $m^2\,g^{-1}$ e a densidade é aproximadamente $5{,}65.10^6\,Mg\,m^{-3}$ (NEXA, s.d.a). Essas características do óxido de zinco permitem que ele seja utilizado em diversos segmentos e diferentes das aplicações do zinco metálico comercializado em forma de lingotes, ligas ou grânulos.

O segmento de borrachas e pneus é o maior consumidor do óxido de zinco, pois esse composto é essencial no controle do processo da vulcanização dos elastômeros, funcionando como um ativador do enxofre da borracha natural e acelerador do processo de vulcanização. Em menores proporções, ele pode ser usado como agente desmoldante e lubrificante (GUJEL, 2012).

Outra aplicação comum desse material é na área de tintas; desse modo, é possível utilizar a pintura rica em óxido de zinco para proteger peças importantes das aeronaves, por exemplo, neutralizando os resíduos de ferrugem e protegendo a estrutura da corrosão. Assim, a combinação do aço galvanizado com a pintura rica em óxido de zinco proporciona uma durabilidade do material de mais de 50 anos sem manutenção. A utilização dessa tinta também protege a estrutura de micro-organismos como fungos e bactérias e por isso é muito utilizada em parques infantis (SYMBIA, 2019).

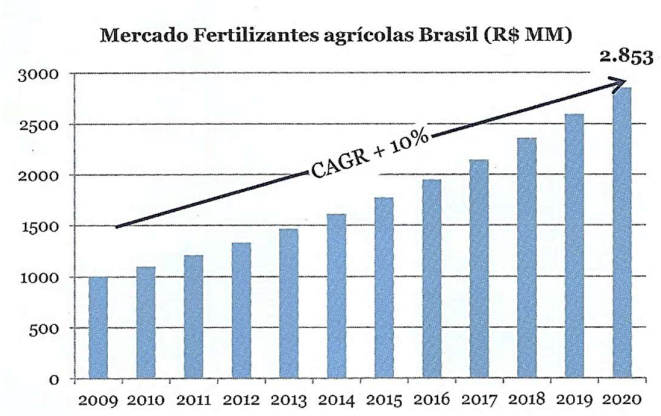
Os cosméticos e fármacos também utilizam o óxido de zinco, dessa vez como corantes, pigmentos e agentes bloqueadores de luz ultravioleta. Por isso estão presentes em protetores solares, xampus anticaspas e pastas de dentes para prevenção da ação das bactérias. Ele também é vendido como substância ativa para assaduras de bebês ou como um dos componentes de diversas pomadas e produtos dermatológicos (GALEMBECK; CSORDAS, 2019).

No segmento das cerâmicas, o óxido de zinco é utilizado para a fabricação de fritas[2] e esmaltes cerâmicos como fundente secundário de alta temperatura; proporciona acabamento superficial (em pequenas quantidades promove brilho, em grandes quantidades proporciona efeito opaco); confere resistência química e ao calor e por fim, garantem a transparência e estabilidade contra a deformação (FLORES, 2019).

A forma de óxido permite que os íons de zinco sejam incorporados mais facilmente na cadeia alimentar por meio das plantas ou animais, por isso são comercializados para os produtores de fertilizantes e de ração animal como bois, vacas, porcos e aves. No segmento da nutrição animal, esse elemento é considerado um micromineral essencial e é responsável pelo funcionamento de diversas enzimas envolvidas no metabolismo de proteínas e carboidratos, participa ativamente do desenvolvimento e funcionamento do sistema imunológico, auxilia na síntese do DNA, atua na cicatrização de ferimentos, e tem grande importância nas fases reprodutivas das fêmeas até o parto e a lactação e é essencial para a integridade e funcionalidade das membranas celulares (PRADO, 2012).

Outra aplicação importante é na nutrição das plantas em forma de fertilizantes, por estar mais atrelado ao presente trabalho, ele será detalhado no tópico 2.2.2, a seguir. Nele, será possível perceber como os vegetais absorvem esse elemento e quais são exatamente suas funções nessa cadeia. A Figura 7 que indica o crescimento desde 2009 até uma projeção do ano de 2020 e a sigla CAGR indica *Compound Annual Growth Rate*, ou taxa de crescimento anual composta.

Figura 7 – Evolução na quantidade de fertilizantes agrícolas no Brasil, em milhões de reais, entre os anos de 2009 e 2020 (este último uma projeção).



Fonte: PwC apud Votorantim Metais, p. 14

[2]Material usado na produção de esmaltes cerâmicos para queimas em temperaturas entre 870º e 1050°C.

2.2.2 Óxido de Zinco nas Plantas

O meio mais eficiente das plantas incorporarem o zinco em suas cadeias é pela forma de sulfato ou, no caso, de óxido. Esse elemento é chamado de oligoelemento essencial ou micronutriente, porque é necessário em concentrações relativamente pequenas nos tecidos das plantas (5-100 ppm). Todos os solos contêm concentrações mensuráveis dos micronutrientes essenciais e não essenciais, mas as concentrações variam de acordo com os desgastes geoquímicos por conta das intempéries dos fragmentos de rochas, nas quais o solo se formou junto com o acréscimo das deposições atmosféricas e contribuição das atividades agrícolas como fertilizantes e pulverização de agroquímicos. Além disso, o solo pode receber os micronutrientes das águas das enchentes e sedimentos (ALLOWAY, 2008).

A quantidade total média de zinco nos solos do mundo é de cerca de 55 ppm e é distribuída em 5 grupos: solúvel em água (presente na solução do solo); fração trocável (íons ligados a partículas do solo por cargas elétricas); fração ligada a componentes orgânicos (íons adsorvidos com ligantes orgânicos); fração de zinco adsorvida e não trocável sobre os minerais de argila e óxidos metálicos insolúveis e por fim frações de minerais primários intemperizados. Entretanto, somente o zinco nas frações solúveis e naquelas em que os íons podem ser facilmente adsorvidos está disponível para as plantas (ALLOWAY, 2008).

> A disponibilidade de Zn às plantas é determinada por sua atividade na solução do solo, a qual é controlada principalmente pela adsorção desse nutriente aos compostos sólidos, por meio de complexos de esfera interna, e pela formação de precipitados. A magnitude dessas reações varia com o solo, dependendo do pH e dos teores de fósforo, de argila, de matéria orgânica e de óxidos de ferro e alumínio (ERNANI et al, 2001)

No Brasil, cada região possui diferentes características de solo e por esse motivo as recomendações de aplicação de zinco nos solos variam. No sul do país, por exemplo, não se recomenda a aplicação pois sua disponibilidade nos solos já é alta, diferentemente do cerrado (ERNANI et al, 2001).

Outra forma do íon de zinco ser incorporado no solo é por meio dos dejetos dos suínos. O uso continuado de grandes quantidades de estercos animais na mesma área pode provocar contaminação das águas subterrâneas com nitratos, aumentar a concentração de sais no solo e até provocar toxidez de alguns nutrientes aos vegetais. Dos micronutrientes, o zinco é o mais provável de tornar-se tóxico devido à grande quantidade na ração de leitões (2.400 ppm) com o objetivo de eliminar os distúrbios gastrointestinais provocados pelo desmame desses animais. Porém grande parte desse elemento não é absorvida pelos animais, sendo eliminada nas fezes (ERNANI et al, 2001).

A forma como o solo adsorve os íons de zinco se baseia em mecanismos que controlam as concentrações desse oligoelemento na solução do solo e, portanto, aquilo que é imediatamente disponibilizado para as raízes das plantas e as quantidades de zinco nas formas instáveis que podem ser dessorvidas e se tornarem disponíveis para as plantas. A forma mais simples que expressa a troca de cátions é por meio da reação:

$$Zn^{2+} + M\text{-Solo} \leftrightarrows Zn\text{-Solo} + M^{2+}$$

onde M é qualquer outro cátion divalente. Os mecanismos envolvidos na adsorção de íons sobre as superfícies sólidas incluem a troca de cátion, adsorção específica, ligação à matéria orgânica, quimissorção e precipitação (ALLOWAY, 2008).

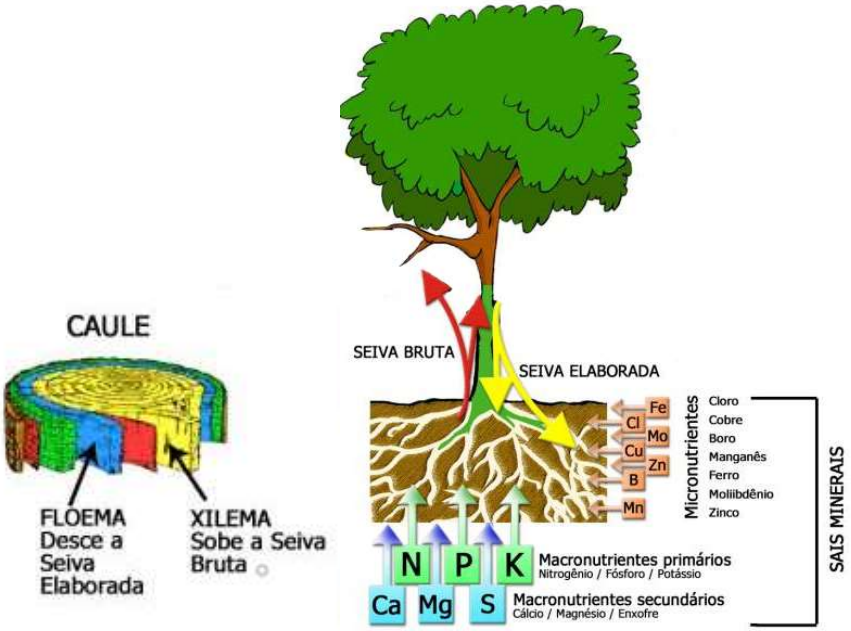
A adsorção é uma operação de transferência de massa em que certos sólidos têm a capacidade de concentrar determinadas substâncias existentes em fluidos líquidos ou gasosos em sua superfície, possibilitando a separação dos componentes desses fluidos. Quanto maior a superfície externa por unidade de massa sólida, mais favorável é a adsorção, por isso os adsorventes são geralmente sólidos porosos (NASCIMENTO et al., 2014).

De acordo com a natureza das forças envolvidas nesse processo, a adsorção é classificada como física ou química. O tipo físico, ou fisissorção, é mais fraco devido às forças de Van der Waals atuantes (similares às forças de coesão molecular). Já o tipo químico, ou quimissorção, envolve a criação de reações químicas e resulta em ligações mais fortes. Outra característica da adsorção física é que ela ocorre em toda a superfície adsorvente, enquanto a adsorção química só pode ocorrer nos sítios ativos, sendo assim, é chamada de localizada (NASCIMENTO et al, 2014).

O zinco é transportado na planta como Zn^{2+} ou ligado aos ácidos orgânicos e ele se acumula nos tecidos da raiz, mas é deslocado para o broto quando necessário. Esse elemento é parcialmente deslocado das folhas velhas para os órgãos em desenvolvimento, pois esses precisam ainda mais das funções desse íon (ALLOWAY, 2008).

A Figura 8 indica um dos modos dos micronutrientes serem absorvidos pelas plantas, ou seja, esses seres vivos captam os macronutrientes e micronutrientes do solo e absorvem por meio do xilema que é uma das partes do caule que captam a seiva bruta, em seguida o floema impulsiona a seiva elaborada para baixo e assim ocorre essa troca de elementos solo/planta.

Figura 8 – Desenho esquemático de um modo das plantas absorverem os micronutrientes.



Fonte: Autora “adaptado de” Fillippe; Lucio, 2019, p**. 1**

O entendimento da disponibilidade do zinco nos solos e da sua absorção pelas plantas se faz necessário para entender as suas funções fisiológicas. Em todos os sistemas vivos, o zinco participa de diversas funções como a manutenção da integridade estrutural e funcional das membranas biológicas, a facilitação da síntese de proteínas e expressão genética que é a transferência de informação genética de DNA à proteína. Além disso, é crucial para o crescimento normal e saudável e para a reprodução de plantas, animais e seres humanos. Nas plantas, especificamente, o zinco exerce diversas funções relacionadas à regulagem de enzimas e constituição estrutural como:

- Metabolismo do carboidrato: fotossíntese e conversão do açúcar em amido;
- Metabolismo das proteínas;
- Metabolismo do regulador de crescimento;
- Formação de pólen;
- Manutenção da integridade das membranas biológicas
- Resistência às infecções por certos patógenos (ALLOWAY, 2008).

Além de suas funções padrões nas plantas, o zinco interage com os macronutrientes. Elementos como o cálcio, magnésio, potássio e sódio inibem a absorção de zinco nas raízes das plantas, porém nos solos o efeito principal está relacionado com a influência que esses elementos exercem sobre o pH (baixo pH geralmente aumenta o teor de Zn e o contrário

também é válido). Outra interação válida é do zinco com os outros micronutrientes como cobre, ferro, manganês e boro. Em relação ao cobre, há uma competição de absorção pois ambos são incorporados pela raiz e a nutrição do cobre afeta a redistribuição do zinco dentro das plantas. Quando a plantação possui deficiência de qualquer um dos nutrientes, a aplicação de outro elemento causa intensificação dos efeitos dessa deficiência. Apesar de alguns efeitos serem bastante conhecidos como é o caso do cobre-zinco, outros variam de acordo com o tipo de plantação (milho, arroz, cereais), tipo de solo, pH, estação do ano e outros fatores externos (ALLOWAY, 2008).

2.2.2.1 Principais Problemas Causados nas Plantações

Apesar da suma importância do zinco nas plantações, a deficiência desse micronutriente é a mais generalizada e frequente nas plantações e pastagens em todo o mundo, resultando em perdas significativas na produção e qualidade nutricional. Em geral, essa deficiência ocorre ou porque o teor de zinco no solo é insuficiente para suprir as necessidades da planta ou porque algumas características químicas como pH, matéria orgânica, cátions e ânions solúveis e características mineralógicas como tipo e teor de argila, óxidos e hidróxidos de Fe e Al influenciam a dinâmica desse íon no solo, afetando sua disponibilidade nas plantas (ABREU; VAN RAIJ, 1996)

As mudanças nos mecanismos fisiológicos das plantas causados pela deficiência de zinco podem resultar em sintomas visíveis de estresse como retardamento do crescimento do ser vivo, amarelecimento das folhas entre as nervuras (clorose inter nerval), má formação e/ou retardamento das folhas, coloração bronze, entre outros (ALLOWAY, 2008).

Outro impacto que a deficiência do zinco causa no solo é a redução em pelo menos 20% da produção culminando em perdas na economia para o fazendeiro/agricultor. Em países em desenvolvimento, há um custo significativo com a redução da eficiência do solo, pois influencia diretamente nas importações de grãos, sendo necessário aumentá-las para compensar a queda (ALLOWAY, 2008).

Os solos mais propícios à deficiência de zinco são solos com alto pH com material de origem desgastado pelas intempéries (solos tropicais), solos com alto teor de carbonato de cálcio (solos calcários), pH neutro ou alcalino (solos tratados com cal ou calcário), solos salinos, acúmulo de água (solo de várzea) e solos com altas concentrações de magnésio e/ou bicarbonato (ALLOWAY, 2008).

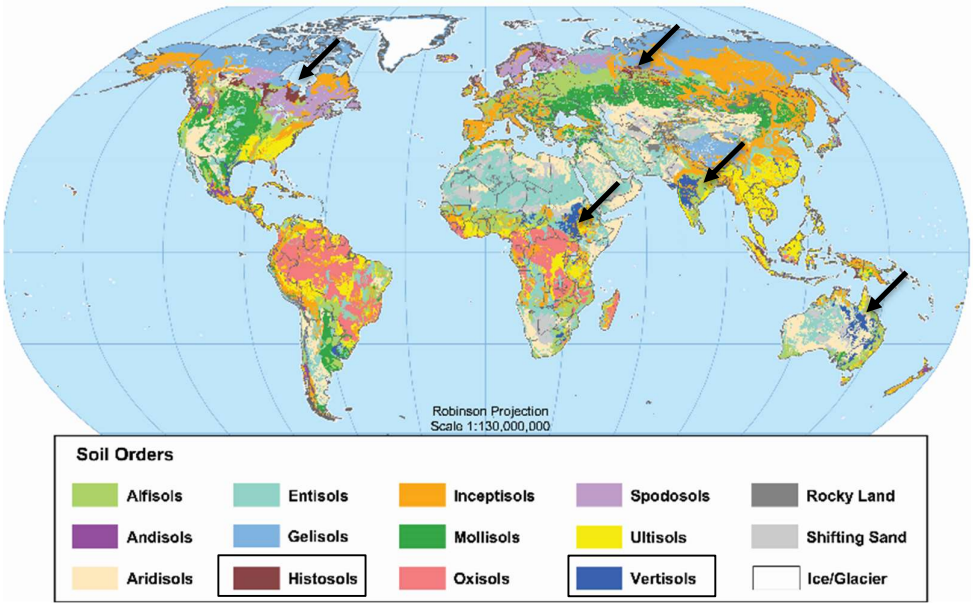
2.2.2.2 Principais Áreas Afetadas pela Deficiência do Zinco

Foi realizado um estudo sobre a condição dos nutrientes dos solos pela Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO) e conduzido pelo Professor Mikko Sillanpää entre 1974 e 1982 que possibilitou mapear as principais áreas do mundo afetadas pela deficiência de diversos nutrientes. O estudo foi realizado com 30 países e notou-se que embora eles não representem completamente toda a variedade de solos, climas e culturas existentes no mundo, fornecem boa indicação da ocorrência da deficiência de zinco.

Dentre os países estudados, 40% apresentaram deficiência de zinco, entre eles: Hungria, México, Nepal, Filipinas, Tailândia, Egito, Etiópia, Gana, Malawi, Nigéria, Tanzânia e Zâmbia (SILLANPÄÄ, 1982).

Em geral, a conclusão foi de que os solos com maior índice de deficiência de zinco são os solos calcários (calcissolos) com um pH alto e clima semiárido e os solos com menores teores de zinco disponível para as plantas incluem os histossolos e vertissolos. Os histossolos são solos de zonas úmidas e podem formar uma camada impermeável com o acúmulo de matéria orgânica, são solos muito ácidos. Já os vertissolos contém alto teor de argila e são muito secos, podendo formar grandes rachaduras. Esses solos se encontram, respectivamente, no Canadá e na Índia/Sudão como é possível observar da Figura 9 (ALLOWAY, 2008; ALL...2018)

Figura 9 – Tipos de solos e sua distribuição nas regiões do globo, com destaque para histossolos e vertissolos.



Fonte: USDA, 2020.

Oito anos depois, Sillanpää conduziu outro estudo envolvendo 190 ensaios em 15 países (já estudados na primeira publicação) e concluiu que a frequência da deficiência desse micronutriente foi mais alta no Iraque e Paquistão, seguidos pelo Nepal, Turquia e Tailândia. Além disso, o zinco foi o único micronutriente que apresentou ocorrência quase igual de deficiência grave e escondida enquanto os outros elementos como boro, cobre, ferro, manganês e molibdênio apresentaram evidências de deficiência escondidas superiores às graves. As deficiências escondidas são preocupantes, pois seus sintomas não são evidentes e assim, não há acompanhamento do problema nem diagnóstico (SILLANPÄÄ, 1990).

É importante lembrar que o óxido de zinco aplicado nos solos é captado na forma de íon pelas plantas e é incorporado na ração dos animais como porcos, gado, frango e peixes. Por meio da ingestão desses animais e plantas, o ser humano também adquire o zinco em seu organismo. Por esse motivo, a deficiência de zinco no solo implica diretamente na saúde dos humanos. Com esse paralelo é possível correlacionar a taxa de mortalidade infantil ou a má nutrição das pessoas com as áreas afetadas pela falta de zinco.

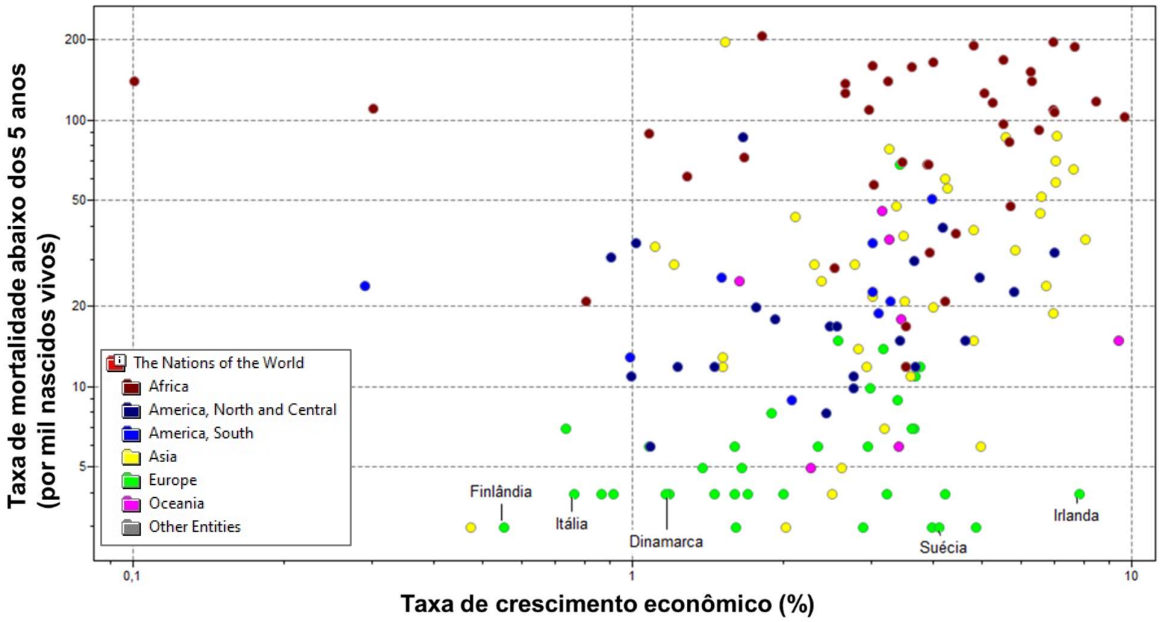
O programa CES EduPack® possui uma base de dados relacionada com dados demográficos do mundo todo, assim, possibilita que sejam gerados diversos gráficos para comparar parâmetros de educação, saúde, geografia, direitos humanos, energia, carbono/ meio ambiente e pessoas. Com o intuito de relacionar os países que possuem maiores taxas de mortalidade infantil com a deficiência de zinco, foram gerados 3 gráficos. A comparação foi feita entre os dados da taxa de mortalidade abaixo de 5 anos (por mil nascidos vivos) com a taxa de crescimento econômico, com o uso de terras agrícolas e com a pegada ecológica per capita. Os gráficos podem ser observados nas Figuras 11, 12 e 13, sendo que cada cor representa uma região do mundo e podem ser observadas na Figura 10. Os países nomeados em cada gráfico são para melhor entendimento e relação com as análises; o Brasil está destacado, quando possível, a título de comparação.

Figura 10 – Representação em cores das regiões do mundo.

Fonte: CES EduPack®, 2019.

A Figura 11 apresenta a correlação entre a taxa de mortalidade abaixo dos 5 anos para cada mil nascidos vivos e a taxa de crescimento econômico. Na parte superior direita encontram-se os países que possuem a maior taxa de mortalidade e a maior taxa de crescimento econômico. De modo inverso, os países na parte inferior esquerda apresentam a menor taxa de mortalidade infantil e a menor taxa de crescimento econômico, com isso, nota-se que há pequena correlação entre as duas taxas analisadas, sugerindo que é possível países com baixa taxa de crescimento econômico possuírem alta taxa de mortalidade, assim como é possível existirem países com baixa taxa crescimento econômico e baixa taxa de mortalidade abaixo dos cinco anos. Os dados sugerem, portanto, que as duas taxas não possuem relação uma com a outra, ou seja, são políticas públicas na área de saúde que procuram minimizar as taxas de mortalidade abaixo dos cinco anos que independem da taxa de crescimento econômico já que isso é uma escolha da política de governo.

Figura 11 – Correlação da taxa de mortalidade abaixo dos 5 anos (por mil nascidos vivos) com a taxa de crescimento econômico.

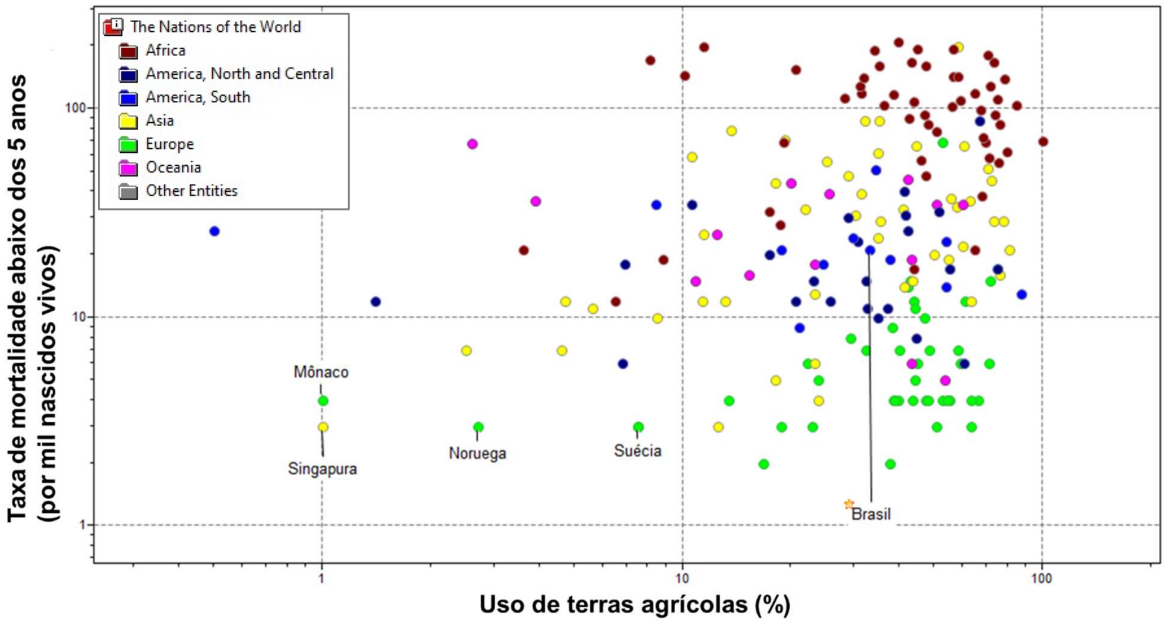


Fonte: CES EduPack®, 2019.

A Figura 12 indica a correlação entre a taxa de mortalidade abaixo dos 5 anos para cada mil nascidos vivos e a porcentagem de uso das terras agrícolas. Na parte superior direita se encontram os países que possuem maior taxa de mortalidade infantil e maior uso das terras agrícolas, é possível notar que não há uma relação direta entre esses parâmetros. Os países

africanos têm alto índice de mortalidade e de uso de terras agriculturáveis, podendo indicar que essas terras não necessariamente são para consumo próprio, isso, partindo-se da premissa de que as terras agriculturáveis são utilizadas para o sustento da população. Simultaneamente, países bem desenvolvidos como Singapura possuem baixo índice de uso de terras, talvez pela disponibilidade de área rural na extensão desse país; entretanto, sua taxa de mortalidade é baixa. Novamente isso permite a conclusão de que a relação não se dá de forma direta, pois envolve diversos fatores como a extensão territorial do país, a disponibilidade de áreas rurais, o uso das plantações nas áreas rurais entre outros fatores sociológicos, econômicos e políticos.

Figura 12 – Correlação da taxa de mortalidade abaixo dos 5 anos (por mil nascidos vivos) com o uso de terras agrícolas.

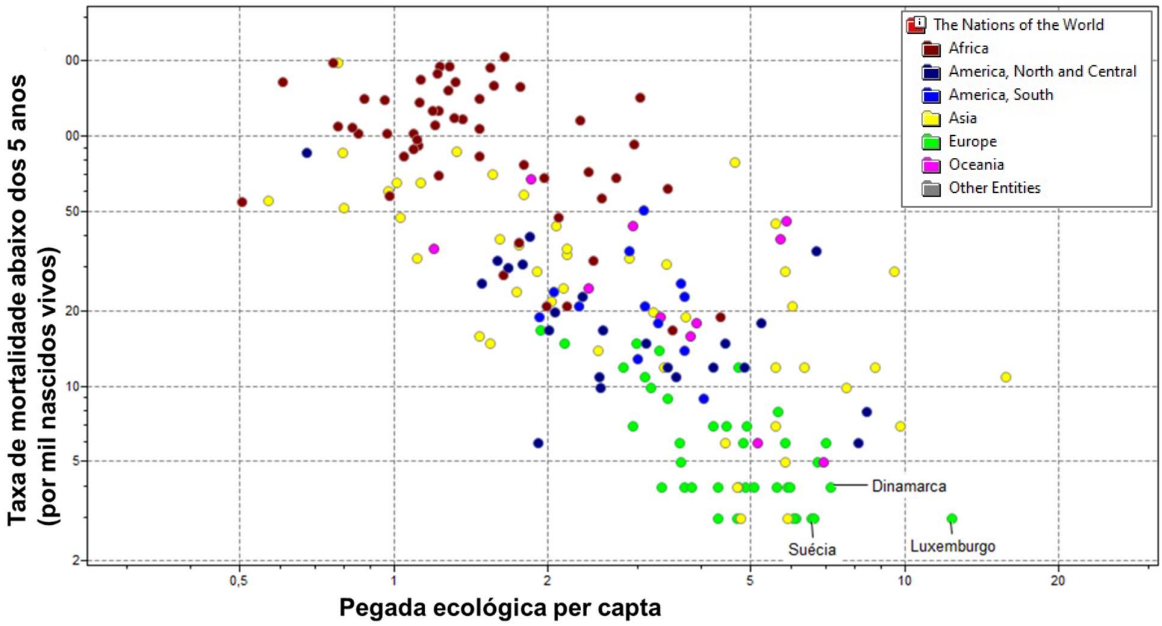


Fonte: CES EduPack®, 2019.

Na Figura 13 foi gerado o gráfico da taxa de mortalidade abaixo dos 5 anos para cada mil nascidos vivos pela pegada ecológica per capita e foi possível observar um comportamento linearmente decrescente. Os países mais desenvolvidos como Luxemburgo e os outros pertencentes a Europa possuem alta pegada ecológica e baixa taxa de mortalidade infantil enquanto os países em desenvolvimento apresentam, no geral, alta taxa de mortalidade e baixa pegada ecológica. Isso permite afirmar que quanto mais tecnologia um país tem e mais recursos disponíveis para sua população, maior a emissão de carbono que ele gera enquanto o contrário também é verdadeiro, se há menos tecnologia e menos desenvolvimento também se gera menos

pegada de carbono. Entretanto, não se pode afirmar que com o aumento da pegada de carbono de um determinado país consequentemente diminui-se a taxa de mortalidade infantil; essa comparação se deu apenas de modo correlacionado, mas não atrelado intrinsecamente já que a correlação não significa a busca da causalidade do problema já que a causa para ambas as situações ou os parâmetros analisados pode ser a mesma.

Figura 13 – Correlação da taxa de mortalidade abaixo dos 5 anos (por mil nascidos vivos) com a pegada ecológica per capita.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

O parâmetro da taxa de mortalidade infantil não está necessariamente atrelado a deficiência do zinco no solo, mas é importante a investigação dessa variável. A mortalidade pode estar atrelada à deficiência de zinco nos seres humanos visto que esse micronutriente é de suma importância para diferentes enzimas e proteínas do organismo humano e ainda aumenta a imunidade e melhora a cicatrização. De certa forma, o zinco nos seres humanos segue atrelado à deficiência de zinco nas plantas, pois elas (juntamente com os animais) são a fonte de alimento das pessoas, assim, se há falta de zinco no solo e nos animais também haverá nos seres humanos (MANARINI, 2014; GAUCHAZH, 2011; ZINC... 2019)

Além disso, a investigação da mortalidade infantil procura entender se há ou não ligação entre as riquezas dos diversos países e as formas de lidar com esse problema. É possível notar nos mapas que os países do continente africano e alguns países da Ásia possuem maiores taxas de mortalidade em geral, enquanto os países da Europa se encontram no outro extremo do mapa.

Evidentemente, há relação com a riqueza de cada um dos países e com a distribuição de renda do mundo, mas de acordo com Alloway (2008), no capítulo 6 de seu livro 'Zinco no solo e nutrição de culturas' quase todo o mundo sofre com a deficiência do zinco. A diferença entre os países são a forma de lidar e prevenir essa falta do micronutriente.

Especificamente os países da África Subsaariana como Costa do Marfim, República Democrática do Congo, Gana, Guiné, Madagascar, Malawi, Mali, Nigéria, Serra Leoa, África do Sul, Sudão, Suazilândia, Togo, Zaire e Zimbábue possuem deficiência do zinco, porém há pouca informação sobre os problemas com micronutrientes na agricultura de baixo investimento do continente africano. Na África do Sul, a deficiência de zinco é encontrada no milho de forma generalizada em solos arenosos e na cana-de-açúcar, feijão, trigo, ervilha, frutas cítricas, abacate, noz e bananas. Solos derivados de arenito em solos calcários são particularmente suscetíveis à deficiência e houve casos de deficiência de zinco em regiões úmidas e tropicais da África. Em Serra Leoa os solos encharcados foram os mais afetados e no nordeste da Nigéria foram os vertissolos (ALLOWAY, 2008)

No Afeganistão, um dos países apontados como o que possui maior taxa de mortalidade infantil, a deficiência de zinco foi considerada o maior problema no trigo do país. O clima predominante dessa região é semiárido e solos calcários com alto pH. Além disso, há grande probabilidade de que os problemas de deficiência desse micronutriente já estejam restringindo a produção agrícola, o que irá acontecer quando o uso de fertilizantes fosfatados aumentar e variedades agrícolas de alta produção forem cultivadas (ALLOWAY, 2008).

Outro país que possui um índice de mortalidade infantil considerável é Bangladesh, onde a deficiência de zinco é reconhecida como fator limitador da produção agrícola. Estima-se que cerca de $1{,}75.10^{10}$ m^2 de terra cultivada intensamente seja afetada pela deficiência, que ocorre principalmente no arroz e trigo. A deficiência de zinco no solo e nas plantas surgiu como um problema em potencial importante na onda de intensificação da agricultura especialmente nas culturas de arroz cultivadas nos solos alcalinos e inundados (ALLOWAY, 2008).

Alguns países e regiões não disponibilizam facilmente todas as áreas afetadas pela deficiência de zinco nas culturas agrícolas, dificultando a análise completa. Entretanto, é possível analisar que a deficiência do zinco nas culturas é bastante difundida e de importância econômica em uma escala global. Os países e regiões onde a deficiência é um problema particularmente importante tendem a ser aqueles com produção de arroz em planícies, áreas semiáridas com solos calcários e/ou alcalinos, ou onde as plantas são cultivadas em solos altamente intemperizados e lixiviados, como solos tropicais vermelhos (ALLOWAY,2008).

O propósito da análise da deficiência de zinco correlacionada à taxa de mortalidade infantil proporciona a investigação da relação com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que foi desenvolvido em 2015 pela Organização das Nações Unidas (ONU) com intenção de serem cumpridos até o ano de 2030. A Figura 14 indica os 17 objetivos, sendo possível relacioná-los com o presente trabalho.

Figura 14 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Fonte: Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), 2019.

Segundo a ONU, o segundo objetivo envolve acabar com a fome e garantir o acesso de todas as pessoas a alimentos seguros, nutritivos e suficientes durante todo o ano, acabar com todas as formas de desnutrição, incluindo atingir as metas sobre nanismo e caquexia[3] em crianças menores de cinco anos de idade, e atender às necessidades nutricionais dos adolescentes, mulheres grávidas e lactantes e pessoas idosas. Além disso, visa dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos; garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo. Ainda pretende adotar medidas para garantir o funcionamento adequado dos mercados de alimentos e seus derivados, e facilitar o acesso oportuno à informação de mercado, inclusive

[3] Grau extremo de enfraquecimento.

sobre as reservas de alimentos, a fim de ajudar a limitar a volatilidade extrema dos preços dos alimentos (ONU, 2015).

O ODS 3, como pode ser observado na Figura 14, possui o título “Saúde e Bem Estar” e visa, entre outros tópicos, acabar com as mortes evitáveis de recém-nascidos e crianças menores de 5 anos objetivando reduzir a mortalidade neonatal para pelo menos 12 por 1 mil nascidos vivos e a mortalidade de crianças menores de 5 anos para pelo menos 25 por 1 mil nascidos vivos; reduzir em um terço a mortalidade prematura por doenças não transmissíveis via prevenção e tratamento e promover a saúde mental e o bem-estar (ONU, 2015).

Uma das causadoras de doenças e condições prejudiciais aos recém-nascidos e crianças menores de 5 anos é a falta de zinco no organismo. A carência desse íon pode diminuir a imunidade das pessoas deixando-as mais vulneráveis a doenças e ainda pode causar diarreia crônica, queda de cabelo, unhas fracas, paladar alterado, distúrbios de crescimento, infertilidade, dificuldade na cicatrização de feridas e distúrbios neurológicos (MOURA, 2019; AVELLANEDA; CRUZ; PALACIO, 2009; PERAFÁN-RIVEROS et al., 2002).

Quando o organismo apresenta uma alteração na absorção ou no metabolismo do zinco, há o surgimento da acrodermatite enteropática. Essa doença é rara autossômica recessiva congênita, ou seja, se dá desde o nascimento do indivíduo podendo atingir homens ou mulheres e provém de dois genes recessivos. Em geral causa irritações na pele e feridas que inflamam e podem causar um quadro grave em bebês, porém é de fácil tratamento, sendo recomendado a ingestão de zinco por via oral. O fato de o tratamento ser relativamente simples implica na facilidade de ser evitada ou revertida, associando-se aos objetivos de bem estar e saúde da ONU (INSTITUTO UNIDOS PELA VIDA, 2010; AVELLANEDA; CRUZ; PALACIO, 2009; PERAFÁN-RIVEROS et al., 2002)

Outro ODS que se relaciona com o tema é o décimo segundo, pois trata-se do “Consumo e Produção Responsáveis” e tem como premissa, entre outras, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais; reduzir pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial nos níveis de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita. Considerando que essas perdas possam ser evitadas se nenhuma das plantações possuir deficiência dos micronutrientes essenciais para a vida, pois como abordado, causam amarelecimento das folhas e as tornam ineptas ou impróprias ao consumo (ONU, 2015).

Por fim, o ODS 15 observado na Figura 14 aborda a vida terrestre e com isso é razoável relacioná-lo com as plantas. Um de seus tópicos visa combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar

para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo, além de tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais. Assim, se os nutrientes e micronutrientes necessários ao solo forem utilizados nas medidas certas, eles podem evitar a degradação do solo e restaurá-los (ONU, 2015).

2.2.3 Processo Produtivo do Óxido de Zinco

Ao se tratar da auditoria ecológica do óxido de zinco, é crucial entender como esse material é produzido, portanto, deve-se entender que existem três tipos de processo produtivo. O processo americano consiste em um minério sulfetado de alta concentração, em termos relativos, que é oxidado e posteriormente reduzido pela ação do carbono para formar vapores de zinco. Esses vapores de zinco são oxidados em seguida para formar o óxido de zinco. O produto obtido por esse processo fornece um pH mais ácido, característica esta que retarda a vulcanização de forma proporcional à sua porcentagem de mistura. O tamanho das partículas obtido pelos processos depende do fluxo de ar na fase de oxidação e da geometria do reator (CAETANO, 2019).

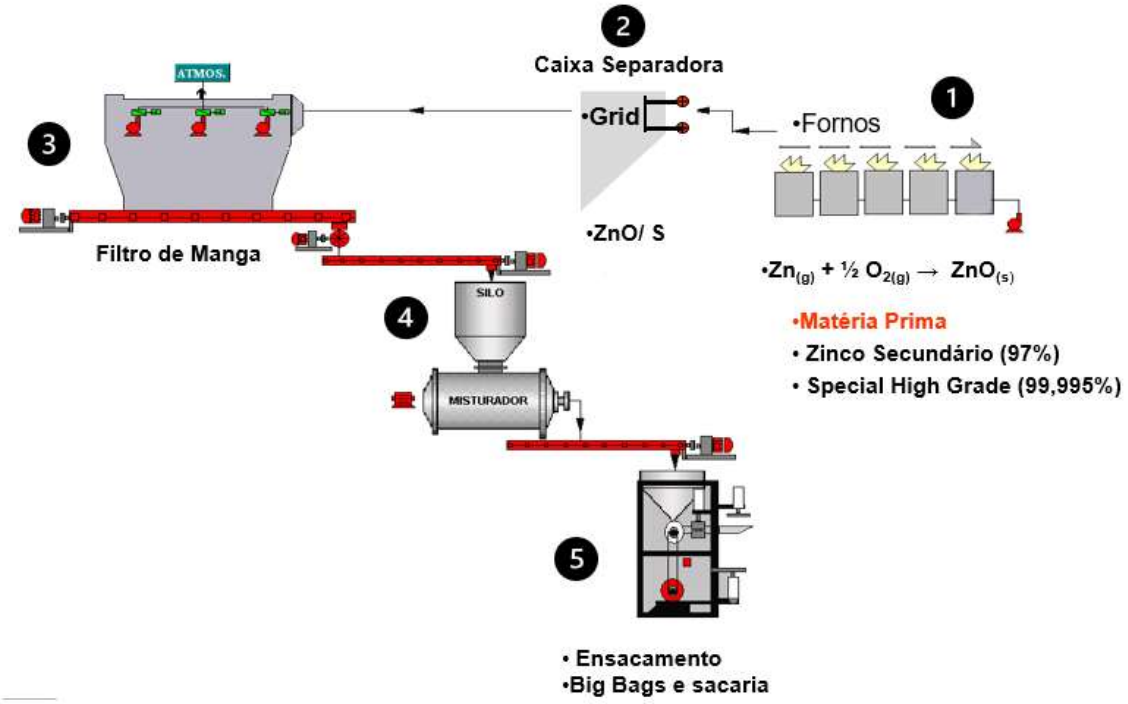
O segundo processo é por via úmida e consiste na formação de hidrossulfito de zinco que é posteriormente neutralizado com uma solução de hidróxido de sódio, obtendo-se, por precipitação, óxido de zinco, o qual é posteriormente filtrado e seco. A área específica do material obtido por esse processo é da ordem de 25 $m^2 g^{-1}$, porém não é o material mais puro, pois contém impurezas de enxofre e por isso sua coloração não é tão branca. Outra variação desse processo envolve uma solução de sulfato de zinco que é tratada com carbonato de sódio e resulta na precipitação de carbonato de zinco ($ZnCO_3$). Esse composto passa por uma etapa de secagem para remoção da água e é calcinado para eliminação de anidrido carbônico. O ZnO obtido por esse processo possui uma desvantagem que é a tendência de formação de aglomerados devido a sua área específica ser elevada e assim, menor o tamanho das partículas. Isso significa que a área exposta deve ser maior e, portanto, a superfície específica também é alta (CAETANO, 2019).

O último método é o que será desenvolvido na narrativa do presente trabalho, chamado de processo francês, ele pode ser analisado no esquema da Figura 15. É possível utilizar apenas zinco SHG (*special high grade*) (99,995% pureza) ou zinco SHG combinados com materiais secundários (borras de galvanização ou de siderúrgicas com 96,5% de pureza) para alimentar a bateria de fornos. Ainda há um tipo de borra de zinco com pureza mais elevada que na realidade

é chama de PW (*prime western*) e está presente na base de dados do programa CES EduPack®, ou seja, este será alimentado para obtenção dos resultados.

Conforme pode ser analisado na Figura 15, a primeira etapa é alimentar os fornos com zinco líquido ou borra de zinco líquida (ponto de fusão do zinco – 419,5°C) e essa matéria-prima é aquecida a aproximadamente 920ºC vaporizando o Zn e reagindo com o oxigênio para formar o ZnO. Assim, a coifa existente acima dos fornos filtra o óxido e transporta as partículas para a caixa separadora que separa as partículas com granulometria mais alta (etapa 2) passando por grandes tubos que proporcionam seu resfriamento e as partículas são conduzidas para o filtro de manga onde são filtradas pela última vez de modo que todas as partículas estejam homogêneas (etapa 3). Por fim, são transportadas ao silo onde ficam armazenadas para posteriormente serem homogeneizadas pelo misturador (etapa 4). Assim, o óxido de zinco passa pelo processo de ensacamento (etapa 5) e está apto a ser comercializado.

Figura 15 – Processo francês de produção do ZnO.



Fonte: Autora “adaptado de” AVILA, 2019, p.2

Esse processo apresenta como vantagem a possibilidade de controle da pureza e das demais características do óxido; é possível gerar por esse processo diferentes tipos de óxido que consequentemente recebem nomenclaturas diversas. Os óxidos comercializados para o mercado

de fertilizantes que são obtidos por esse processo recebem o nome de “óxido de zinco FE” ou “óxido de zinco FERT” (ambos nomes designados para abreviar e indicar que esse material é usado na área de fertilizantes). Como esses materiais são destinados ao mercado de fertilizantes agrícolas, possuem alto grau de pureza e são registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Possuem um controle rígido de contaminantes, principalmente de metais pesados, como chumbo, cádmio e cobre, garantindo que as suas especificações atendam às exigências do setor. A Tabela 1 e a Tabela 2 indicam as especificações desses materiais e o controle rígido dos metais pesados.

Tabela 1 - Especificação do óxido de zinco FE.

Características Químicas			**Características Físicas**		
Elementos	**Mínimo (%)**	**Máximo (%)**	**Característica**	**Mínimo (%)**	**Máximo (%)**
Zn	79,9	-	Aspecto	Pó branco fino	
Pb	-	0,005	Passante na malha 2,00 mm	100	-
Fe	-	0,005			
Cd	-	0,045			
As	-	0,4			
Zn solúvel em ácido cítrico 2%[4]	60	-			

Fonte: NEXA, s.d.a, p.1

Tabela 2 – Especificação do óxido de zinco FERT.

Características Químicas			**Características Físicas**		
Elementos	**Mínimo (%)**	**Máximo (%)**	**Característica**	**Mínimo (%)**	**Máximo (%)**
Zn	79,5	-	Aspecto	Pó branco fino	
Pb	-	0,2	Passante na malha 2,00 mm	100	-
Cd	-	0,045			
As	-	0,4			
Zn solúvel em ácido cítrico 2%[5]	60	-			

Fonte: NEXA, s.d.b, p.1

Ao analisar as Tabela 1 e Tabela *2* nota-se que a pureza do óxido de zinco FE é superior a do óxido de zinco FERT, isso se dá porque o primeiro tipo é produzido na bateria que pode ser alimentadas apenas com zinco SHG enquanto o segundo tipo é produzido nas baterias que

[4] Percentual de solubilidade aplicado sobre o teor mínimo de Zn contido, ou seja, 60% de 79,9% = 47,9%
[5] Percentual de solubilidade aplicado sobre o teor mínimo de Zn contido, ou seja, 60% de 79,5% = 47,7%

utilizam zinco SHG e borras de zinco. As borras de zinco, conforme mencionado, provêm dos processos de galvanização e de siderurgias, assim o teor de zinco contido nelas é inferior à do zinco comercialmente puro. Ao analisar as especificações desses materiais, percebe-se também que o teor de zinco mínimo contido nos lotes de óxido de zinco FE deve ser de 79,9% enquanto o teor mínimo de zinco contido no óxido de zinco FERT é de 79,5%. Outra diferença se dá entre o teor máximo permitido do chumbo, para o ZnO FE é permitido no máximo 0,005% e no ZnO FERT máximo de 0,2%. Para o cádmio e o arsênio, os teores máximos permitidos são os mesmos e é interessante notar que no ZnO FE há uma especificação para o teor de ferro enquanto para o ZnO FERT não.

2.3 AUDITORIA ECOLÓGICA E PEGADA DE CARBONO

2.3.1 Desenvolvimento dos Conceitos

A questão ambiental se tornou, hoje, uma preocupação real e alarmante para a vida da população. O que antes parecia inesgotável e infinito chegou em seu ponto crítico, e, por esse motivo têm surgido cada vez mais estudos que visam diminuir os impactos causados ao meio ambiente e restaurar pelo menos parte do que foi perdido. A população vem clamando por políticas públicas a serem adotadas para preservar os recursos naturais, porque apesar de ser um problema global é de entendimento coletivo que as soluções precisam ter início em cada um dos locais, para serem ampliadas a escala global. Assim, a auditoria ecológica visa quantificar o impacto ecológico da vida do material particulado estudado em todo seu processo produtivo, obtendo diferentes resultados para cada etapa. Essa ferramenta se baseia na estimativa de emissão de CO_2 e consumo de energia para dado componente e permite gerar gráficos comparativos, possibilitando a análise do consumo de energia e de emissão de carbono que são intrínsecas aos processos do óxido de zinco. COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016, 2014).

Para que se faça a contabilidade das emissões dos gases de efeito estufa (GEE), foi estabelecido um padrão internacional que utiliza o carbono como parâmetro; por isso fala-se em pegada de carbono. Esse termo é designado para uma metodologia criada a fim de medir as emissões de gases do efeito estufa, independentemente do tipo de gás emitido, que são convertidas em carbono equivalente. Esses gases são emitidos na atmosfera durante o ciclo de vida de uma pessoa, produto, processos ou de serviços. Alguns exemplos de atividades que geram emissões são a queima de combustíveis fósseis, o cultivo de arroz, a criação de pastagem

para gado, o desmatamento, as queimadas, a produção de cimento e até eventos como os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos (ECYCLE, 2019; COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016, 2014).

Um exemplo que ilustra de forma ainda mais clara o conceito de pegada de carbono é pensar na expressão como uma espécie de "contabilidade ambiental" das emissões de gases de efeito estufa, similar à contabilidade financeira: cada atividade é listada e os créditos tanto quanto os débitos são monitorados e computados. Todas as atividades do cotidiano envolvem a emissão de carbono – o gás de efeito estufa mais importante, implicando no rastro ambiental que as atividades deixam (COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016, 2014).

É por meio da pegada de carbono que é possível entender os impactos causados à atmosfera e as mudanças climáticas provocadas pelo lançamento dos gases de efeito estufa a partir de cada produto, processo ou serviço consumido. Por esse motivo, os realizadores dos Jogos Olímpicos, realizados no Brasil em 2016, fizeram o mapeamento da emissão de gás carbônico e estudaram as oportunidades de diminuição dessas emissões e, assim, serve de exemplo de estudo para evidenciar os métodos usados para essa medida (COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016, 2014).

Estimou-se que para a realização desse evento haja uma emissão de 3,6 milhões de toneladas de CO_2 equivalente[6] e em uma cidade como o Rio de Janeiro geram-se 2,6 milhões de toneladas de CO_2 equivalente por mês. Visto que o evento não é uma organização convencional e todas suas emissões são necessariamente adicionais, os organizadores estudaram formas de reduzi-las, visando compreender e medir a pegada de carbono de forma transparente e abrangente; reduzir a pegada própria do Rio 2016, evitando as emissões na fonte e reduzindo-as por meio de medidas de eficiência (em emissões inevitáveis, substituir os sistemas convencionais por tecnologias de baixa emissão de carbono); compensar as emissões da operação e as emissões dos espectadores através da mitigação tecnológica; compensar as emissões das instalações e das obras de infraestrutura (cerca de 1,6 milhão de toneladas de CO_2eq) por meio de projetos de reflorestamento ambiental e iniciativas de promoção de economia de baixo carbono. O esquema adotado pode ser observado na Figura 16 (COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016, 2014).

[6] Medida na qual se convertem todos os outros gases de efeito estufa em sua quantidade equivalente medida em CO_2

Figura 16 – Representação da estratégia de redução da emissão de gases.

Fonte: Comitê Organizador dos Jogos Olímpicos e Paralímpicos Rio 2016, 2014, p.11

É possível adotar uma postura que leva a soluções mais simples e de curto prazo como visar a "neutralidade das emissões de carbono"; no entanto, desde 2008, o debate sobre as mudanças climáticas amadureceu e algumas visões foram modificadas. Hoje há um consenso acerca de a "neutralidade de emissões" ser uma expressão potencialmente enganosa porque a expressão "carbono neutro" pode levar a um exagero nas credenciais "verdes", criando a ilusão a respeito do custo financeiro e complexidade na transição para uma economia de baixo carbono. A neutralidade é atualmente vista como *greenwash*, pois pressupõe uma precisão absoluta no cálculo, tanto das emissões originais quanto das compensações, o que é tecnicamente inviável. A outra solução simples seria fazer a amortização da pegada durante a vida útil das instalações e da infraestrutura utilizada, ou seja, distribuir o impacto das emissões ao longo do tempo, em vez de registrá-las de uma só vez (COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016, 2014).

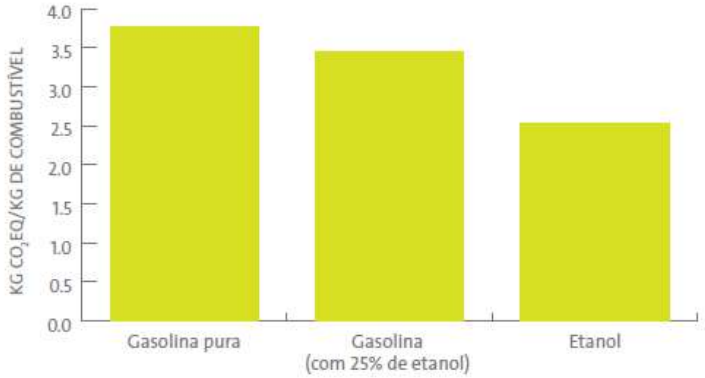
Em vez de utilizar desses artifícios, preferiu-se seguir a metodologia utilizada nos Jogos de Londres em 2012; essa visa antecipar os impactos de carbono para que possam ser evitados, reduzidos ou compensados. Entretanto, os parâmetros técnicos foram adaptados para a realidade brasileira e atualizados de acordo com as descobertas científicas mais recentes sobre o assunto. Esta metodologia refere-se a diversas normas internacionais, mais particularmente ao Protocolo GHG (*greenhouse gases*). Esse protocolo é a ferramenta de prestação de contas mais usada internacionalmente para que líderes governamentais e empresariais entendam, quantifiquem e gerenciem as emissões de gases do efeito estufa. Ele fornece a estrutura para prestação de contas para quase todos os padrões e programas de GEE no mundo – da ISO ao Climate Registry –, bem como centenas de inventários de GEE preparados por companhias

individualmente (COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016, 2014).

As formas que o evento adotou para a redução da emissão de GEE envolveram evitar emissões através de processos cuidadosos, reduzir o carbono incorporado aos materiais por meio de design inteligente e compras sustentáveis e substituir os combustíveis fósseis por combustíveis renováveis e alternativos. Vale ressaltar que devido ao tamanho dos Jogos, mesmo medidas com baixo potencial relativo de redução das emissões puderam gerar economias significativas quando se considera seu valor absoluto (COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016, 2014).

Em relação ao transporte utilizado nas operações das preparações das olimpíadas e paraolimpíadas, foi estudado o uso do combustível, comparando a gasolina pura, gasolina com 25% de etanol e o etanol de acordo com o gráfico da Figura 17. Além disso, foi incentivado o uso de transporte público, bicicletas e/ou caminhada e estimulado o desenvolvimento e uso de aplicativos móveis relacionados a transporte e acessibilidade. Também foi facilitada a instalação de bicicletários, fornecido treinamento em direção econômica aos motoristas, estimulado o uso de pneus com menor resistência ao rolamento, adotadas medidas de eficiência no consumo de água, energia e na geração de resíduos nas garagens de ônibus e contratada de mão de obra regional, permitindo que um número maior de pessoas pudesse utilizar transporte não motorizado. Todas essas pequenas inciativas geraram um grande efeito ao serem comparadas com o todo (COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016, 2014).

Figura 17 – Emissões de GEE da combustão de gasolina pura, gasolina misturada com etanol e etanol puro.



Fonte: Comitê Organizador dos Jogos Olímpicos e Paralímpicos Rio 2016, 2014, p.18

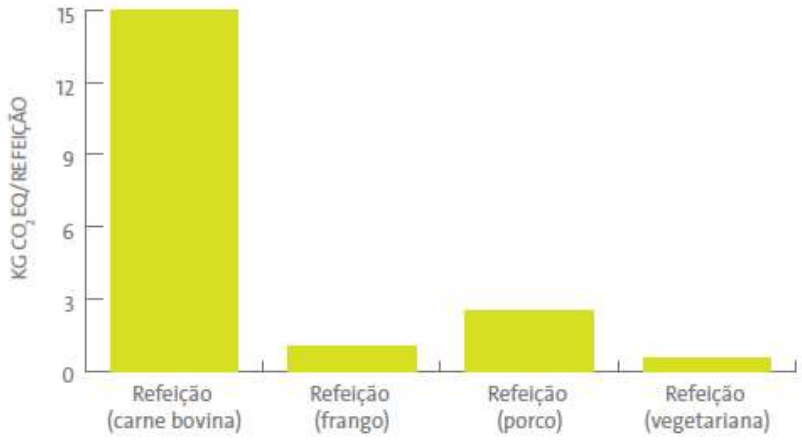
Outra preocupação do projeto foi com as instalações temporárias, estudando o uso eficiente dos materiais e visando reduzir a fabricação de peças exclusivamente para os Jogos. Essa abordagem permitiu ao Rio 2016 maximizar o aluguel de materiais, como tendas, assentos, barreiras e contêineres. As oportunidades de uso de materiais alternativos também foram consideradas como a utilização de estruturas de bambu, assentos de material reciclado, embalagens de madeira, barreiras de concreto feitas com agregado reciclado e carpetes e pisos de vinil com material reciclado. A Figura 18 mostra a diferença em quilograma de CO_2 equivalente por assento economizado quando se utiliza material reciclado.

Figura 18 – Emissões de GEE da produção ao final do ciclo de vida de um assento de material virgem e um assento 100% reciclado.

Fonte: Comitê Organizador dos Jogos Olímpicos e Paralímpicos Rio 2016, 2014, p.19

Por fim, o projeto analisou a redução das emissões de carbono oriundas de alimentos e bebidas que repousou sobre o desenvolvimento da produção sustentável de alimentos que veio ganhando robustez na última década. Assim, surgiu uma iniciativa chamada Rio Alimentação Sustentável que visava oferecer à equipe responsável pelos serviços de alimentos e bebidas do Rio 2016 um panorama que apontasse não só a origem, mas também a capacidade de fornecimento de alimentos saudáveis e sustentáveis, envolvendo parceiros e o governo. Em termos de pegada de carbono, dois pontos merecem destaque, o primeiro deles envolveu a priorização de fornecedores locais, para que os alimentos chegassem mais facilmente ao cardápio, sem necessidade de grandes deslocamentos. O segundo diz respeito à carne vermelha servida nos sanduíches e nas refeições, que contribuía para grande parte das emissões verificadas no segmento alimentação. Uma possibilidade era balancear o cardápio, substituindo parte da carne vermelha por alternativas de menor emissão, como carne branca ou opções vegetarianas. A Figura 19 compara as emissões dos gases em relação a diferentes tipos de carne.

Figura 19 – Comparação das emissões de GEE de diferentes refeições contendo carne bovina, carne de frango, carne de porco e vegetariana.

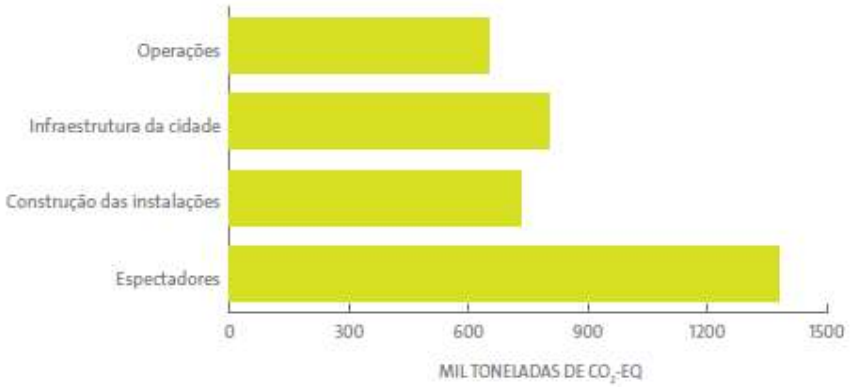


Fonte: Comitê Organizador dos Jogos Olímpicos e Paralímpicos Rio 2016, 2014, p.22

Mas apesar de explicar e definir os conceitos envolvidos em uma auditoria ecológica, ainda não havia sido definida qual seria a pegada de carbono dos Jogos Olímpicos e Paralímpicos Rio 2016; para isso foi feita uma avaliação inicial da pegada total dos Jogos (própria, compartilhada e associada), com uma abordagem usual de emissões, baseada na legislação brasileira, comportamentos esperados dos espectadores e das famílias, adoção de práticas padrão da indústria brasileira, similaridade com edições anteriores dos Jogos, estimativa da média de emissões setoriais por R$ (reais) gasto e utilização de dados básicos da cidade-sede em questão.

Assim, com base na metodologia, a pegada de carbono dos Jogos foi estimada em 3,6 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (3,6 $MtCO_2eq$). A Figura 20 indica as emissões de gases de efeito estufa das quatro categorias principais: espectadores, obras de infraestrutura, construção de instalações e operações. Na categoria espectadores são consideradas as acomodações, mercadoria e transporte envolvidos; na construção das instalações são consideradas todas as instalações esportivas, instalações de treinamento e apoio, acomodação de atletas e outras; na infraestrutura da cidade considerados vagões de trem, estrutura ferroviária, urbanização, transporte rodoviário, estradas, água e outros e por fim nas operações são consideradas alimentos/bebidas, transporte das famílias olímpicas, mídia, energia, acomodações, equipamentos esportivos e eletrônicos, logística e outros (COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016, 2014).

Figura 20 – Pegada de Carbono dos Jogos de acordo com as referências.



Fonte: Comitê Organizador dos Jogos Olímpicos e Paralímpicos Rio 2016, 2014, p.34

Essas emissões incluem todas as emissões “próprias”, “compartilhadas” e “associadas”, sendo 75% de emissões associadas, 20% de emissões próprias e apenas 5% de emissões compartilhadas. Além disso, sabe-se que 43% das emissões ocorreram no período pré-Jogos, sendo resultado da construção das instalações e da implementação e/ou renovação da infraestrutura urbana. Outros 57% das emissões ocorreram durante os Jogos e são atribuídas aos espectadores e às atividades operacionais. Assim, os gráficos abordados pelo Rio 2016 indicam o estudo feito nesse projeto que se assemelha com a auditoria ecológica estabelecida pelo CES EduPack®, e que é usada no presente trabalho.

2.3.2 Conceitos da Ferramenta do CES Edu Pack®

Uma auditoria ecológica é uma avaliação dos recursos materiais, energia e pegada de carbono associados à vida útil de um produto e ao fim da vida dele. É uma ferramenta rápida, de fácil execução e capaz de sinalizar as consequências de uma mudança de material, rota de fabricação, modo de transporte, padrão de uso e escolha de descarte. Além disso, o CES EduPack® possui uma base de dados interligada com diversas plataformas oficiais de órgãos públicos confiáveis que permite uma abordagem localizada, ou seja, dados das nações do mundo que indicam, por exemplo, o impacto da fabricação de produtos sobre as pessoas e sua interação social, explorando as condições de trabalho e o bem-estar na planta de produção e expandindo-a para fornecedores e para a comunidade envolvida ou impactada. Ainda é possível acessar dados de população, PIB, emprego, estabilidade política e controle da corrupção. Porém, esses estudos exigem informações locais que podem não estar disponíveis no domínio público (ASHBY et al. 2019).

A OCDE compila dados para condições de trabalho, finanças nacionais e legislação ambiental da maioria das nações do mundo; além disso, a ONU publica estatísticas anuais que documentam os índices como o de desenvolvimento humano, educação e saúde, listadas por país. Esses dados podem ser usados como métricas de impacto social. Com isso, é possível notar as categorias que trazem impactos nas condições do país estudado e mudanças operacionais que podem proporcionar alterações construtivas para a nação. Os gráficos indicados nas Figuras 11,12 e 13 do tópico 2.2.2.2 do presente trabalho utilizaram essas bases de dados e permitem correlacionar dados econômicos, demográficos e de agricultura.

A ferramenta da auditoria ecológica em específico também utiliza as bases de dados e as informações acerca dos materiais e dos processos e valores envolvidos para cada um dos materiais. Esse detalhamento de cada comando do preenchimento da tela do *Eco Audit*® é dado no tópico 3, na metodologia do presente trabalho.

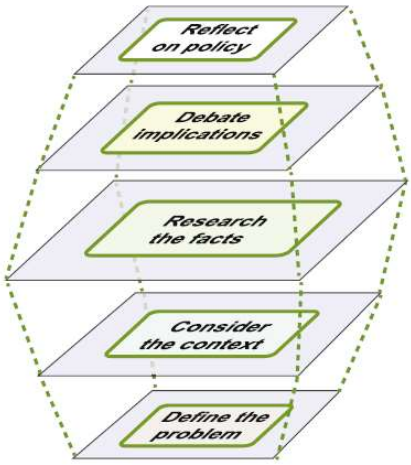
2.4 CONCEITOS E METODOLOGIA DE ASBHY

2.4.1 Passos para o Desenvolvimento Sustentável

Ashby (2016) em sua obra “Materiais e Desenvolvimento Sustentável” apresenta algumas das facetas de uma articulação do desenvolvimento sustentável e defende que uma articulação tem um objetivo principal, ou seja, um foco que se pretende mudar ou fazer algo. Dentro desse objetivo sempre existirão as partes envolvidas (*stakeholders)*, alguns entusiastas e outros relutantes com a ideia. Entretanto, o autor reitera que sempre há um histórico de fatos que podem ser pesquisados para atingir os objetivos da melhor forma e para isso é necessário a criação de um método que revise os componentes e os reúna em uma estrutura única.

Outro ponto importante é analisar o problema que se está lidando: Ashby (2016) explica que esses problemas que precisam de uma metodologia específica para serem resolvidos fazem parte de um “sistema complexo”, complexo este pois muitas entidades com interesses díspares estão envolvidas e sistema porque essas entidades interagem entre si. Quando há de se enfrentar problemas, é natural que haja desconforto, principalmente se esses problemas forem multidimensionais, interativos e mal definidos. Para isso, a resposta mais fácil seria ter uma estrutura para o pensamento crítico que consiga reconhecer a complexidade e a interdependência da situação e ao mesmo tempo permita uma forma de trabalhar com eles. Assim, a abordagem desenvolvida por Ashby (2016) visa dividir o problema em camadas, como pode ser observado na Figura 21.

Figura 21 – As camadas como uma maneira de pensar em um problema complexo.



Fonte: Ashby, 2016, p. 41

A camada inferior é o ponto de partida, a declaração do problema *(define the problem),* a determinação da escala de tamanho e tempo, mas os problemas têm contexto e circunstâncias que os cercam como a reflexão de como se deu o surgimento do problema, quais seriam os resultados desejáveis para essa situação e é a partir desses pensamentos que surge a segunda camada *(consider the context).* Além disso, as informações factuais sobre o problema e o contexto que o cercam devem ser pesquisadas de maneira sistemática. Nessa etapa *(research the facts)* os fatos são apenas reunidos sem nenhum pré-julgamento das informações e armazenados na terceira camada (ASHBY, 2016).

Os problemas complexos estudados não seriam complexos se apenas a pesquisa pudesse resolvê-los, ou seja, a complexidade da situação permeia na interdependência do que Ashby (2016) chama de "quantidades incomensuráveis", ou seja, parâmetros que são medidos em unidades diferentes ou que não são medidas como o julgamento pessoal, crenças e valores. Ao ocorrer a transição da terceira para a quarta camada *(debate implications)*, as informações reunidas são avaliadas e reconhecidas por diversas visões, através de discussão; debate a fim de alcançar uma ideia mutualmente possível. O passo final é de reflexão *(reflect on policy)* acerca das conclusões que podem ser extraídas dos debates da etapa anterior, levando em consideração que é quase inevitável satisfazer todas as partes envolvidas, mas refletindo se e como seria possível reduzir a insatisfação.

A intenção dessa abordagem em camadas é separar de forma clara o objetivo, baseado em fatos, e os aspectos do problema a partir dos mais complexos aspectos e permitir a interação entre as camadas. Em geral, as camadas inferiores informam as acima, para que a abordagem

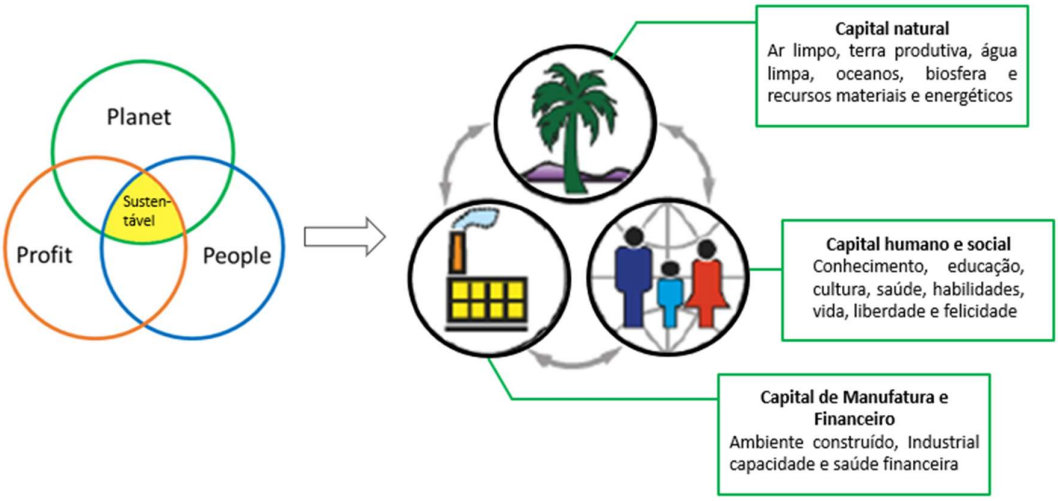
tenha uma sequência e uma direção, mesmo que as camadas superiores necessitem de esclarecimentos adicionais das camadas inferiores.

2.4.2 Sustentabilidade e os Três Capitais

De acordo com Ashby et al. (2019) em seu livro *Social Life-Cycle Assessment and Social Impact Audit Tool – A White Paper*, a manufatura sustentável é representada por um diagrama de Venn composto por três componentes fundamentais, os "3 P's", em inglês: *profit, people, planet*, ou seja, lucro, pessoas e planeta. A partir desse diagrama que se desenvolveu os três capitais, pois são mais explicativos e representativos em problemas complexos, conforme visto na Figura 22.

> Os recursos da crosta terrestre e dos oceanos podem ser considerados como *Capital Natural* (...), herdado da história geológica e biológica do planeta. A infraestrutura e a riqueza acumuladas de uma nação constituem seu *Capital de Manufatura e Financeiro*, ativos construídos por investimento e valor agregado. Finalmente, os recursos culturais e intelectuais de uma nação e a capacidade de seu povo de contribuir para o bem-estar humano, desenvolvimento e felicidade podem ser considerados *Capital Humano e Social* (ASHBY et al. 2019).

Figura 22 – OS 3 P's reinterpretados como os três capitais.



Fonte: Autora "adaptado de" Ashby et al, 2019, p.3

Entretanto, os três capitais não são independentes, ou seja, o capital natural fornece os materiais e a maior parte da energia que apoia a fabricação e gera capital financeiro. Estes, por sua vez, fornecem os recursos que apoiam a educação, a saúde e o apoio social, que são os elementos básicos do capital humano e social. É com o entendimento e a capacidade de raciocinar gerados pelo capital humano que se fornecem os métodos de motivação para

conservar o capital natural, deixando sempre esses conceitos interligados como um ciclo. Infelizmente, os três capitais não são tratados com igual respeito, muitas vezes as considerações econômicas ofuscam o âmbito social e ambiental (ASHBY et al. 2019).

Além disso, há um método para avaliação do ciclo de vida ambiental, econômico e social, sendo o último deles o mais recente. O objetivo final dessa avaliação social, ou S-LCA (em inglês – *Social Life Cycle Assessment*) é melhorar as condições sociais e o desempenho socioeconômico associado a um produto ao longo de sua vida. Ela permite identificar pontos críticos sociais: ponto de contato entre as partes interessadas e aspectos dos materiais, fabricação, distribuição e uso do produto que podem, potencialmente, ser prejudiciais ou podem ser influenciados de maneira positiva (ASHBY et al. 2019).

Ashby et al. (2019) ainda afirmam que o S-LCA e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU estão relacionados, pois incluem o fim da pobreza e outras privações. Buscam a melhora da saúde e educação, estimulam o crescimento econômico, combatem as mudanças climáticas e trabalham para preservar oceanos e florestas. A Figura 23 ilustra como os ODS se alinham com os três principais pilares da sustentabilidade, onde as economias e as sociedades estão inseridas na biosfera.

Figura 23 – ODS e seu alinhamento com os três capitais.

Fonte: Autora “adaptado de” Ashby et al, 2019, p.4

2.4.2.1 Estudo de Caso

Um exemplo dado por Ashby (2016) cabe como um estudo de caso que ilustra de forma simples e concisa os cinco passos por ele desenvolvidos. O caso envolve uma empresa que produz latas de alumínio para armazenamento de cerveja. Em seu livro é ilustrado uma empresa específica com dados de produção anual, porcentagem que representa do mercado no país em que ela atua e todos os detalhes necessários das latas; assim, um grupo de acionistas propõe que a empresa use latas de aço em vez de alumínio com o intuito de reduzir a pegada de carbono e energia consumida na produção do alumínio para o aço. A partir daí já pode ser estabelecido o objetivo principal que é reduzir a demanda de energia e a emissão de carbono pela substituição do alumínio por latas de aço; a escala de tamanho que são 500 milhões de latas por ano e por fim estabelecer a escala de tempo que é a menos clara, mas estima-se que haja algum tipo de resposta até 1 ano (passo 1). A Figura 24 mostra os dois tipos de latas analisados nesse estudo de caso.

Figura 24 – Lata de alumínio à esquerda e a possível substituta à direita: lata de aço.

Fonte: Ashby, 2016, p. 41

Com isso, o CEO da empresa começa a se questionar quem são os interessados e os afetados com a mudança do material da lata, incluindo os fornecedores do alumínio que perderão clientes e os fornecedores do aço que ganharão parceiros, ou seja, reflexão sobre os *stakeholders*. As pesquisas realizadas sugeriram que os consumidores da cerveja não se importam com o material do recipiente, assim são consideradas parte com menor influência desde que continuem consumindo o produto. As pessoas envolvidas na legislação também devem ser levadas em consideração caso haja alguma influência nessa substituição; eles têm

influência, mas não têm interesse nesse caso. Com todas essas informações, o CEO pode pensar de forma mais clara no mercado e traçar um melhor caminho a seguir (passo 2).

A partir daí, deu-se início às pesquisas dos fatos acerca da substituição do material, isto é, começou-se a estudar o quanto de energia é gasto por quilograma na utilização do alumínio e do aço, as informações da quantidade de material virgem e de material reciclado que é usado nessa produção, o peso de cada lata, as energias já utilizadas e a avaliação do ciclo de vida de cada um dos materiais. De posse desses dados, foi possível fazer uma comparação dos dois materiais e chegou-se à conclusão de que as diferenças, tanto em energia quanto em emissões de carbono para os dois tipos de lata são tão pequenos que, as energias e as emissões de carbono dos dois não são significativamente diferentes. A pesquisa também foi feita a respeito do regulamento das embalagens e das leis que envolvem os dois tipos de materiais bem como a economia caso houvesse a substituição do material, analisando o custo de cada uma das latas e concluiu-se que trocando pelo aço é possível economizar até US $ 2,2 milhões na mudança para o aço. O último ponto analisado foi acerca da sociedade, ou seja, se o consumidor aceitaria a troca de materiais e qual o impacto essa mudança causaria (passo 3).

Após o passo 3, o *Chief Executive in Office* (CEO) consegue abrir a discussão para os três tipos de capitais que Ashby (2016) desenvolve: o capital natural, humano e financeiro/manufatura. Nesse estudo de caso é possível compreender esses termos aplicados. Quanto ao capital natural, contrariando a intuição dos acionistas, os fatos sugeriram que as diferenças na energia e pegada de carbono das latas de aço e alumínio são pequenas para serem significativas. Isso ocorre devido ao alto conteúdo de reciclagem do estoque de latas já que as latas de alumínio são muito mais leves que as de aço e porque a estampagem profunda do alumínio para fabricar latas utiliza menos energia do que o processo equivalente para aço.

O capital humano repousa sobre o conceito do tipo do material que se fabrica a lata não carregar bagagem estética, emocional ou cultural (pois é decorada) intrínseca que precisa ser desembalada. Nenhum impacto significativo nesse conceito. Por fim, o capital manufaturado e financeiro aborda a questão dos preços do aço e do alumínio e pondera a economia que pode ser atingida em caso de troca de material, mas contra essa economia, deve ser definido o custo de reequipamento da linha de produção da cervejaria para lidar com latas de aço e a possível interrupção da produção enquanto isso acontece, assim conclui-se que os riscos excedem os benefícios (ASBHY, 2016).

O último passo é o de refletir sobre alternativas, preferencialmente aquelas que não exigem reequipamento da linha de produção. O objetivo principal era reduzir o esgotamento de capital natural associado às latas de cerveja e assim pode se pensar se seria possível tornar as

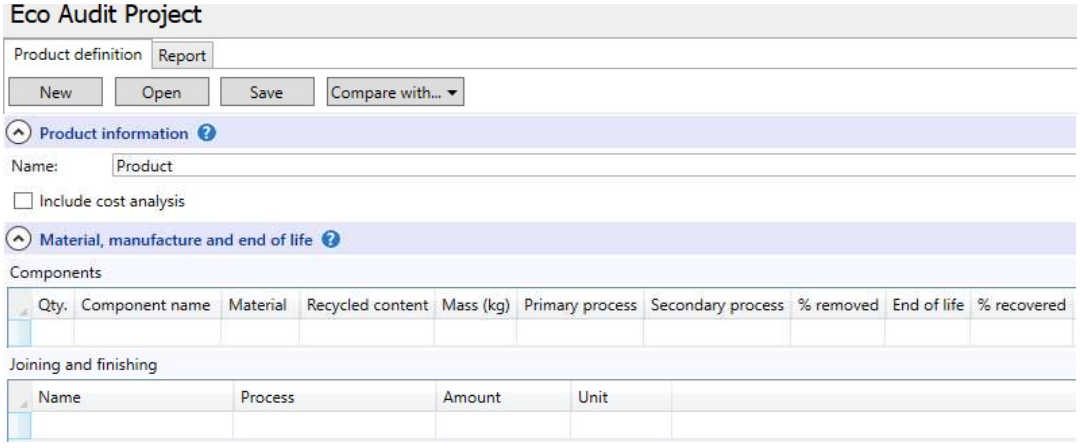
latas de alumínio mais finas e assim com menos gasto energético. Outra possibilidade seria aumentar a recuperação de latas de alumínio para reciclagem cobrando um depósito, isso funcionaria se fosse obrigatório em todo o país ou estado, algo que a empresa por si só não poderia fazer. Mas a cervejaria poderia fazer lobby por essa legislação, demonstrando assim aos acionistas seu compromisso com o meio ambiente sem a interrupção da mudança de material (ASHBY, 2016). Alternativamente, poder-se-ia utilizar um método adotado na Alemanha para promover a reciclagem de materiais, de modo geral, particularmente garrafas nesse caso. Nesse país, quando se compra uma garrafa de PET (polietileno tereftalato ou poli tereftalato de etila), há de se fazer um depósito de 25 centavos que pode ser resgatado quando o cliente volta ao supermercado e utiliza uma máquina que faz a leitura do código do tipo QR Code (RECYCLING... 2019).

3 METODOLOGIA

Ao perceber que a ferramenta de auditoria ecológica do programa CES EduPack® era utilizada apenas para fins de produtos, foi decidido adaptá-la para um processo. Além disso, substâncias e pós/partículas não são materiais tão utilizados na base de dados do sistema e, a fim de juntar esses dois desafios, foi escolhido realizar a auditoria ecológica do óxido de zinco. Por outro lado, a vertente de sustentabilidade do programa possui uma base de dados específica (nível 3 Sustentabilidade) e por isso foi selecionada a abordagem desse material no ramo do agronegócio.

Assim, o primeiro passo a ser tomado foi realizar uma simulação preliminar no CES EduPack® para obter familiaridade com a ferramenta e para entender quais informações seriam cruciais de se obter a fim de executar com êxito a simulação da pegada ecológica dos processos de produção do ZnO para fertilizantes. A conclusão foi de que havia necessidade de coleta de informações mais específicas como a massa de matéria-prima utilizada no processo, como é o fim da vida dessa matéria-prima, qual é o meio de transporte utilizado para levar o material até o seu destino e qual a distância percorrida por ele, qual é a energia consumida no processo de produção desse material e outras informações produtivas. As Figuras 25 e 27 ilustram a tela de preenchimento de informações do Eco Audit®.

Figura 25 – Seção preliminar da ferramenta de auditoria ecológica do programa CES EduPack®[7] solicitando as informações do produto, material, manufatura e fim de vida (componentes, junção e acabamento).



Fonte: CES EduPack®, 2019.

[7] O texto das imagens a respeito do software presentes nesse trabalho se encontram na língua inglesa para manter a fidedignidade de alimentação de informações.

Primeiramente, é possível nomear o produto que se está analisando na aba "*Product Information"* (Figura 25), também é possível selecionar a opção "*cost analysis"* para dimensionar o produto estudado e obter uma comparação de custo desse produto. Na aba *"Material, manufacture and end of life"*, inicialmente digita-se a quantidade e em seguida o nome do componente do material. Na coluna do material, há a possibilidade de busca na base de dados do próprio programa. Assim, segue-se preenchendo a porcentagem reciclável desse material e sua massa; busca-se dentre as opções dadas o tipo de processo primário e secundário que esse material é submetido. A porcentagem removida também pode ser informada a fim de calcular as perdas de material oriundas do processo primário.

A penúltima coluna é útil para o cálculo do fim da vida do material; por isso é necessário preencher dentre as 6 opções dadas como é o fim da vida desse material. As opções envolvem: aterro sanitário, reprocessamento (com perda de parte das propriedades)[8], reciclagem, remanufatura, reuso e nenhum. Na escolha do aterro como fim de vida, não há benefício ou custo futuro de energia associado a esta opção. No reprocessamento, um material é processado novamente e se transforma em outro produto com qualidade inferior, indicando perda de parte das propriedades como no caso de garrafas PET que podem se transformar em fibras para roupas de lã (GRANTA DESIGN, 2020).

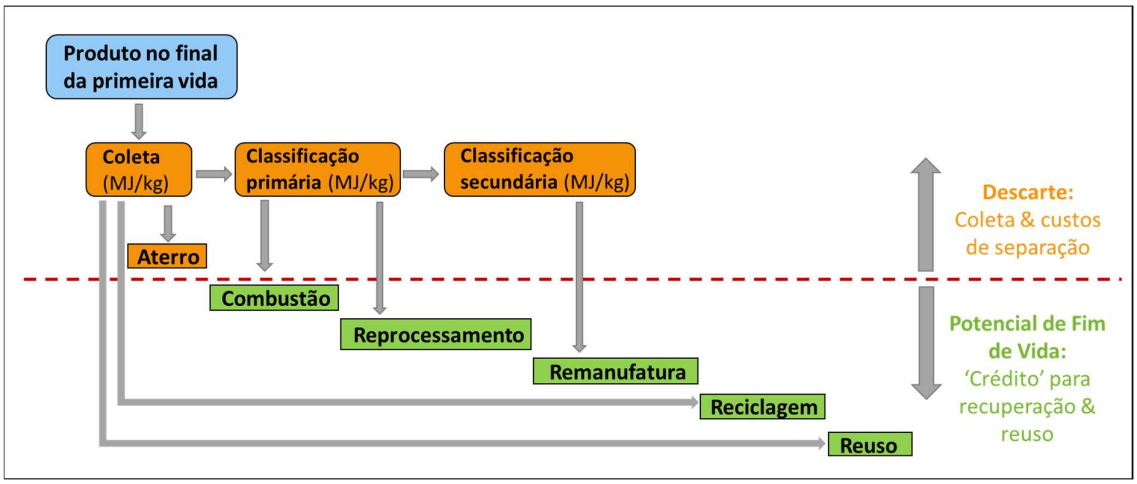
Ao escolher a reciclagem, o material é reprocessado resultando em um material de qualidade semelhante, levando a uma economia de energia e pegada de CO_2 associada à produção de material virgem, menos a energia e o CO_2 associados ao processo de reciclagem. Ao realizar a remanufatura, os componentes são recuperados de um produto existente, limpos, inspecionados, reparados (se necessário) e reutilizados em um novo produto ou como peça de reposição. A outra opção é a reutilização, que é essencialmente a extensão da vida de um produto. Os exemplos incluem, por exemplo, partes das aeronaves que quando atingem o fim da vida útil projetada são vendidos em sítios de leilão na internet. Como essa opção de fim de vida útil não envolve processamento adicional, é possível obter o máximo de benefícios ambientais. Por fim, a última escolha é de nenhum fim de vida para o produto/material. Essa opção refere-se a produtos onde não há descarte no final da vida útil. Por exemplo, as fundações de um edifício que são deixadas no chão após a demolição. Como resultado, nenhum benefício ou custo futuro de energia está associado a esta opção (GRANTA DESIGN, 2020).

A energia e a pegada de CO_2 associadas ao fim da vida útil de um produto são divididas em duas contribuições distintas: o descarte (*disposal*) e o potencial de fim de vida (*EoL - end*

[8] Termo em inglês como downcycling, sem paralelo na nossa língua portuguesa. Em uma tradução livre, seria a reciclagem em produtos inferiores por conta da perda parcial em algumas propriedades.

of life) indicados na Figura 26. O descarte inclui o custo da coleta do material/componente no final da vida útil e, quando aplicável, descarte no aterro sanitário e a separação e triagem do material coletado, pronto para reprocessamento pela rota proposta para o fim da vida útil. Já o potencial de final de vida representa as economias ou 'créditos' que podem ser realizados em futuros ciclos de vida usando o material ou componentes recuperados (GRANTA DESIGN, 2020).

Figura 26 – Representação do descarte e do potencial de fim de vida de acordo com a ferramenta de auditoria ecológica.



Fonte: Autora "adaptado de" Granta Design, 2020, p.1

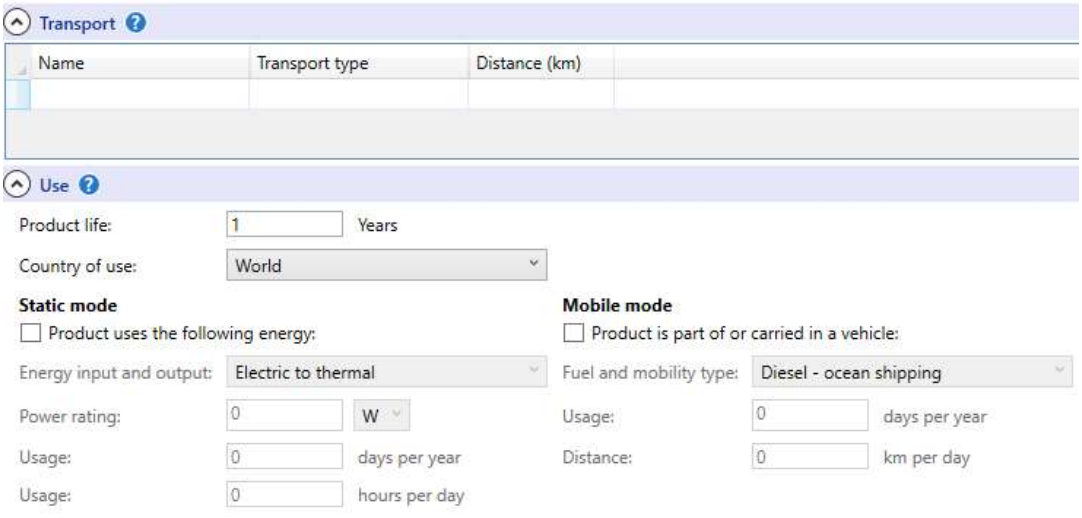
Como o 'crédito' associado à recuperação e reutilização de material fica fora dos limites padronizados do sistema para o ciclo de vida de um produto, o potencial de fim de vida é exibido como uma fase de vida separada permitindo assim determinar a pegada ecológica do produto ao longo do ciclo de vida sem contabilizar o fim da vida e avaliar os benefícios das várias opções de fim de vida (alcançadas considerando apenas a fase do potencial de fim de vida). Por fim, a última coluna da parte dos componentes na Figura 25 indica a porcentagem recuperada do material. A última etapa indicada na mesma figura trata dos processos de junção e acabamento do material, ou seja, é necessário preencher o nome do componente e em seguida o processo de junção que ele é submetido e a quantidade, bem como a unidade utilizada.

As próximas abas de preenchimento para a auditoria ecológica podem ser analisadas na Figura 27. A etapa de transporte começa pelo preenchimento do título para o transporte indicado e em seguida é necessário escolher dentre as opções dadas qual o tipo do transporte, ou seja, se for um caminhão precisa-se saber quantos eixos e qual a sua capacidade para melhores resultados. Por fim é inserida a distância que esse transporte percorre.

A última aba a ser preenchida é a de uso; essa permite calcular os gastos energéticos ao utilizar o material/produto estudado. Primeiro é preenchido a vida do seu produto, ou seja, quanto ele dura, sua validade; em seguida, informa-se em qual local esse material é utilizado, ou qual país é o objeto de estudo desse material.

A fase de uso é dividida em dois modos de operação, estático e móvel/dinâmico. O modo estático refere-se a produtos que são normalmente estacionários, mas requerem energia para funcionar como chaleiras elétricas, geladeiras e ferramentas elétricas. Três parâmetros definem esse modo: eficiência do produto, potência e ciclo de serviço. A eficiência do produto é especificada no menu suspenso 'Entrada e saída de energia'. Isso especifica a eficiência de conversão de energia do produto e a carga ambiental associada à sua fonte de energia. Já o modo móvel/dinâmico refere-se a sistemas de transporte, onde a massa tem uma grande influência no consumo de energia. Esse modo também é definido por três parâmetros: tipo de transporte, eficiência e distância percorrida ao longo da vida útil do produto. O tipo e a eficiência do transporte são especificados no menu suspenso 'Tipo de combustível e mobilidade'. Isso determina a carga ambiental associada ao transporte e ao tipo de combustível. Para produtos elétricos ou meios de transporte elétrico, em ambos os modos, os valores de equivalência energética e pegada de CO_2 dependem do tipo de eletricidade usada no país estudado. Para produtos que operam nos dois modos, é possível selecionar as duas caixas. Por fim, é preenchido quantos dias por ano esse material é utilizado e quantas horas ao dia a fim de calcular precisamente o gasto energético (GRANTA DESIGN, 2020).

Figura 27 – Seção intermediária da ferramenta de auditoria ecológica do programa CES EduPack® solicitando as informações de transporte e uso do produto (processamento).



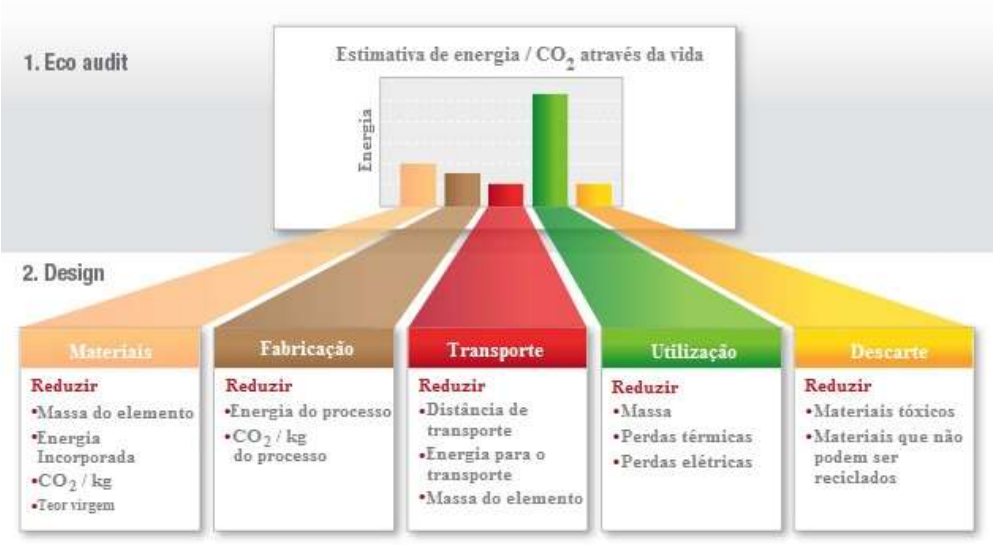
Fonte: CES EduPack®, 2019.

O próximo passo foi planejar uma visita técnica à planta produtiva do óxido de zinco localizada na cidade de Três Marias, em Minas Gerais. A função da visita técnica foi coletar as informações necessárias para alimentação da ferramenta de auditoria ecológica bem como os documentos e depoimentos correlatos. Foi importante também conhecer o processo produtivo de cada uma das baterias de produção do óxido de zinco e entender os locais de armazenamento de cada uma das matérias-primas.

Ao retornar da visita e juntar todos os dados, deu-se início aos cálculos necessários para alimentação do programa. Foi necessária a pesquisa de outros dados como o poder calorífico do óleo utilizado para aquecimento do forno das baterias de produção e de posse de todos os dados, os cálculos foram revistos. Assim, foi possível realizar a simulação novamente para caracterizar a pegada ecológica. Foram realizadas seis simulações diferentes de acordo com os cenários possíveis de produção e comparadas entre si a fim de obter resultados comparativos específicos para cada parâmetro da pegada ecológica. De posse das simulações, fruto da caracterização da pegada ecológica e das comparações entre elas, foram analisados os resultados obtidos.

A Figura 28 indica uma ilustração esquemática de como funciona a ferramenta de auditoria ecológica e quais os parâmetros por ela considerados, assim facilitando o entendimento da simulação. Conforme mencionado, no campo de utilização foi considerada a produção do óxido de zinco já que o objeto de estudo não é um material ou objeto em si e sim uma substância produzida, ou seja, a processo de produção dessa substância.

Figura 28 - Ilustração esquemática da análise da ferramenta Eco Audit®.



Fonte: Vazquez; Dutra, 2018, p.120

De maneira geral, a análise da figura nos indica onde é possível reduzir tanto energia, quanto massa, emissão de gases, perdas térmicas e elétricas que podem culminar na redução de gastos.

Após a caracterização, foi utilizada a metodologia desenvolvida por Ashby (2016) em seu livro *"Materials and Sustainable Development"*. É possível utilizar esse método dos 5 passos que foi introduzido anteriormente, no item 2.4.2.1, página 50, em qualquer projeto, sendo uma análise ecológica, seleção do melhor material para determinada aplicação ou para seleção de processos. De qualquer modo, os 5 passos auxiliam o desenvolvedor do projeto a pensar de forma racional e subjetiva em diversos pontos que às vezes são esquecidos ou passam desapercebidos. Entre eles é possível questionar sobre todas as pessoas envolvidas no processo, analisar custos, trocas ou viabilidade, trazer os capitais humano, financeiro e natural como formas de reflexão e retomar o objetivo principal caso ele tenha sido deixado de lado.

Segundo Ashby (2016), o passo 1 é o ponto de partida do projeto, ou seja, uma declaração do objetivo principal, utilizando escala de tamanho e escala de tempo. Em algumas ocasiões esse objetivo surge a partir da intenção de uma mudança ou melhoria e em outros casos, como o presente, ele surge a fim de investigar ou avaliar e analisar um processo já existente.

O passo 2 é a identificação de quem são os *stakeholders*[9] e quais suas preocupações. Esse termo é designado para todas as partes envolvidas na cadeia produtiva do material estudado, processo ou sistema. A forma ideal de se realizar essa identificação é através de entrevistas e questionários, porém quando não houver a possibilidade de entrevistas espera-se que sejam feitas pesquisas documentais em notícias, posições de órgãos governamentais, documentos de posicionamento de ONGs, cartas a editores e revistas (ASHBY, 2016).

O passo 3 é a pesquisa, de forma sistemática, das informações necessárias para a auditoria ecológica e o contexto que acerca esse objetivo. Nessa etapa há a reunião dos fatos através das fontes confiáveis (em geral, as mesmas do passo 2), mas sem nenhum julgamento anterior. É importante a apuração ou averiguação dos fatos utilizando a literatura para investigar o cenário envolvido e a articulação da validade das preocupações expressas pelos *stakeholders*. Os fatos devem, se possível, ser confirmados através de uma segunda fonte independente. A Granta Design® possui estudos de casos com dados e pesquisas, mas no caso do óxido de zinco ainda não houve um estudo aprofundado. A busca dos dados é facilitada usando o banco de dados do CES EduPack Sustainability® (ASHBY, 2016).

[9] A tradução para essa palavra é geralmente 'acionistas', mas o uso dessa palavra em inglês parece ter uma abrangência maior do que essa tradução, como pode ser observado no texto.

O passo 4 coloca as informações reunidas em avaliação, ou seja, procura-se avaliar por diversos ângulos e visões. Tal avaliação é feita através de discussões e debates a fim de alcançar uma ideia mutualmente possível. Outro ponto crucial na quarta etapa é a síntese de como os fatos influenciam os capitais humano, natural e de manufatura. Assim, alguns fatos têm efeito positivo em um capital, mas negativo em outro. É necessário que seja mapeado o caso em estudo de modo que se tenha uma visão geral de qual capital recebe influência positiva ou negativa; assim, o mesmo fato pode aparecer em mais de uma célula da matriz (ASHBY, 2016).

Um exemplo é o uso de milho como matéria-prima para produção de biopolímeros poder ter um impacto positivo para o capital natural e ao mesmo tempo um impacto negativo para o capital financeiro porque gera custos. Da mesma forma, ao se analisar superficialmente, pode-se pensar na quantidade do óxido de zinco utilizado nas plantações; se for usado nas doses certas, pode-se salvar uma plantação e nutri-la. Entretanto, se for colocado de forma demasiada, pode-se intoxicar a plantação e o solo (ASHBY, 2016).

Por fim, o último passo é o da reflexão, avaliando a imagem que surgiu e considerando mudanças prioritárias. É importante que essas considerações sejam feitas com duas escalas de tempo, uma a curto prazo e outra a longo prazo. Isso se dá porque muitas ideias a curto prazo são impraticáveis ou equivocadas devido ao pensamento inicial do sucesso não estar em vigor e não haver possibilidade de ser desenvolvido no prazo estipulado. Assim, Ashby (2016) faz uma reflexão interessante que consiste em dizer que muitas das ideias iniciais do desenvolvimento sustentável são primeiros passos em uma jornada mais longa. Outra reflexão estabelecida envolve ponderar se o ganho a longo prazo justifica o esforço a curto prazo. É nesse passo também que surge o momento dos questionamentos refletindo se seria possível a visão por trás da ideia inicial ser alcançada de maneira que exija menos esforço do que o primeiro proposto.

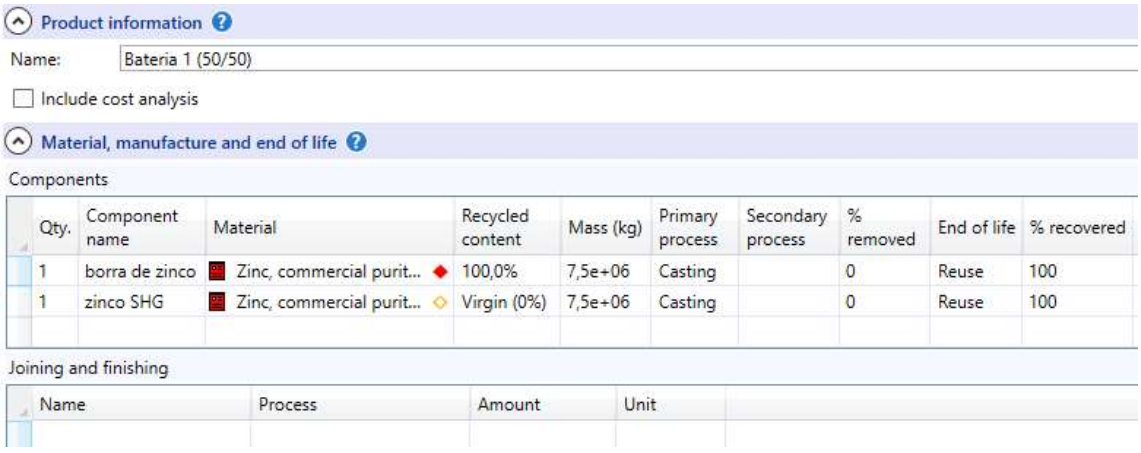
Ao analisar os 5 passos de Ashby, pode-se notar que os três primeiros nessa progressão são objetivos e determinísticos, enquanto os dois últimos são subjetivos e, portanto, abertos ao debate. O autor ainda reitera que não há resposta "certa" para avaliar questões tão complexas quanto as do desenvolvimento sustentável. Em vez disso, há uma resposta ponderada e bem pesquisada que aceita a complexidade e procura trabalhar com ela para alcançar um equilíbrio e uma conclusão defensável (ASHBY, 2016).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O presente capítulo mostra os resultados encontrados na caracterização por meio da ferramenta *Eco Audit*® do programa *CES EduPack®,* versão 2019. Seis diferentes cenários de produção do óxido de zinco foram caracterizados a fim de reproduzir as várias possibilidades de produção de óxido de zinco existentes na planta da Nexa Recursos Minerais S.A, em Três Marias. As baterias 1 e 3 são compostas por 15 e 12 fornos, respectivamente, e nelas é possível utilizar como matéria-prima o zinco puro, chamado de zinco SHG e produzido na própria empresa e o zinco secundário que são as borras de zinco provenientes de processos siderúrgicos e de galvanização. As proporções desses dois materiais podem ser diversas. Por isso, foi escolhido analisar o cenário com 50% de cada um desses materiais; 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG e, por fim, um cenário com 100% de uso de borra de zinco. A bateria 4 também foi analisada; ela é composta por 12 fornos e pode ser alimentada apenas com zinco SHG; assim, os diversos cenários foram comparados entre si.

Com isso, a primeira simulação a ser realizada foi da bateria 1 com composição de 50% de borra de zinco e 50% de zinco SHG. Na Figura 29 podem ser analisadas as informações preenchidas na tela da auditoria ecológica do programa, ou seja, o título do cenário analisado. Em seguida, os componentes utilizados para a produção do ZnO como a borra de zinco e o zinco SHG (ambos buscados pela base de dados do sistema) bem como a porcentagem que essas matérias-primas são recicladas. Para preencher a coluna da massa em quilograma desses materiais foi preciso a realização dos cálculos indicados na Tabela 3.

Figura 29 – Seção final da ferramenta de auditoria ecológica do programa CES EduPack® solicitando as informações do produto, material, manufatura e fim de vida (componentes, junção e acabamento).



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Para a coluna do processo primário, foi preenchida a informação da fundição, pois ambas matérias-primas são alimentadas no forno no estado líquido. Nesse caso, não há processo secundário nem porcentagem removida de material. Para o fim da vida foi selecionado o reuso já que é um material que será comercializado para a indústria de fertilizantes; assim, a porcentagem recuperada é de 100%. Como a simulação foi realizada para o processo produtivo do óxido de zinco, não há processos de junção e acabamento e essa aba ficou vazia.

A Tabela 3 indica os dados necessários e os cálculos realizados para permitir a alimentação do programa. Foi realizado o cálculo da quantidade de energia consumida para uma produção anual de 15001,5 toneladas de ZnO por ano para a bateria 1. Esta tabela está indicada como exemplo, já que os mesmos cálculos foram feitos para as baterias 3 e 4. O poder calorífico do óleo BPF (Baixo ponto de Fluidez) é de 9000 kcal/kg. Desse modo, para um turno de 24 horas, a quantidade consumida de óleo é de $3{,}08.10^3$ toneladas de óleo por ano que leva a um consumo de energia de 3723,12 kW (kJ/s); esse dado é alimentado no Eco Audit® do CES EduPack®.

Tabela 3 – Cálculos realizados para alimentação do programa a fim de quantificar a auditoria ecológica do ZnO.

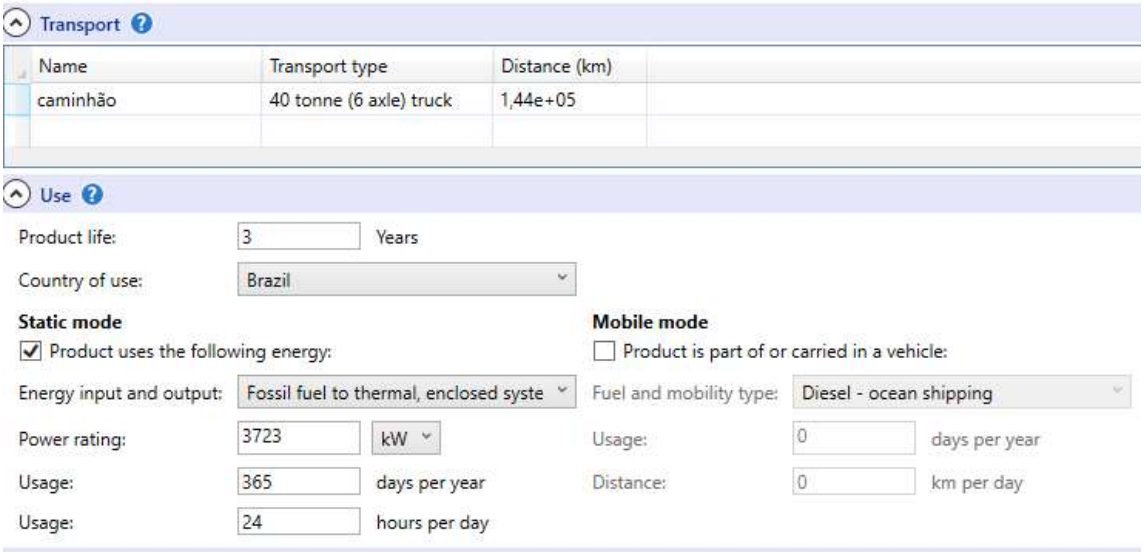
Bateria 1	
15	fornos
2,74	tZnO/(forno.dia)
41,1	tZnO/dia
15001,5	tZnO/ano
205	kg óleo/t
3075307,5	kg óleo/ano
256275,625	kg óleo/mês
9000	kcal/kg
4,184	kJ/kcal
37656	kJ/kg óleo
9650314935	kJ/mês
720	h/mês
2592000	s/mês
3723,12	kJ/s
3723,12	kW

Fonte: Autora.

A Figura 30 mostra as informações de transporte e uso do produto (processamento) que têm de ser alimentadas na ferramenta de auditoria ecológica. Na aba de transporte foi preenchido o tipo de caminhão mais utilizado para levar o óxido de zinco aos clientes e a distância média percorrida.

Há de se mencionar que o programa, na realidade, trabalha com um produto propriamente dito. Entretanto, no presente caso o produto foi tratado como a produção do ZnO. Por esse motivo, a vida útil ou o prazo de validade do produto que é de 3 anos não tem qualquer significado. A segunda informação dada é o país que está sendo analisado, no caso foi estudado apenas o cenário nacional. Em seguida são preenchidas as informações de energia. Para essa aplicação, o modo estático se adequa ao sistema estudado já que o óxido de zinco utiliza energia para ser produzido, mas não é parte de um sistema móvel. Além disso, nota-se que há consumo de combustível fóssil (óleo BPF) para um sistema fechado (bateria 1) e que o valor de 3723,12 kW, fruto da Tabela 3 está presente. Por fim, há de se colocar o uso de 365 dias por ano e 24 horas por dia.

Figura 30 – Seção final da ferramenta de auditoria ecológica do programa CES EduPack® solicitando as informações de transporte e uso do produto (processamento).



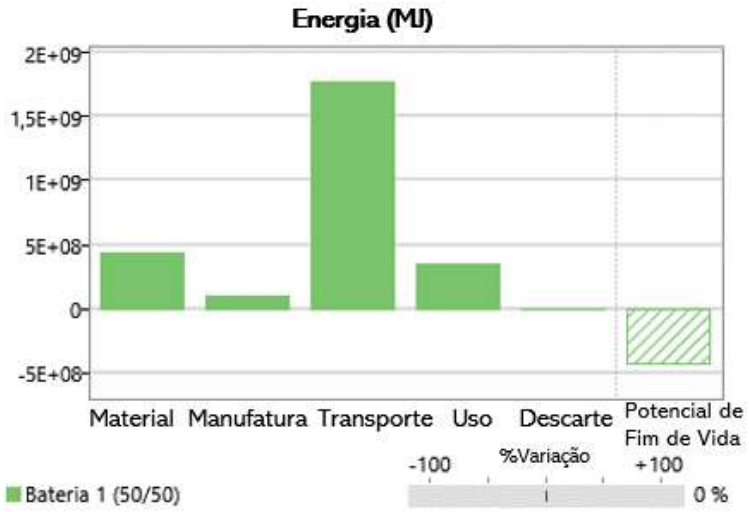
Fonte: CES EduPack®, 2019.

Após o preenchimento da tela da auditoria ecológica do programa, foram gerados gráficos do consumo de energia e da pegada de CO_2 de cada uma das etapas avaliadas, tais quais: material, manufatura, transporte, uso (que no caso é o processamento), descarte e o potencial do fim da vida. Primeiro serão apresentados os resultados dos cenários isolados e em seguida serão feitas as comparações pertinentes. Esses gráficos são cruciais para a análise dos resultados isoladamente e para a comparação de diversos cenários.

Os gráficos indicados nas Figuras 31 e 32 são referentes à primeira simulação realizada, ou seja, a bateria 1 para o cenário de 50% de cada uma das matérias-primas (zinco SHG e borra

de zinco). É possível notar que a maior quantidade de energia consumida está no transporte do ZnO para o mercado consumidor e em segundo lugar, o grande responsável pelo consumo de energia é o material. Entretanto, é importante ressaltar que a mesma quantidade consumida de energia para o material é recuperada na última coluna hachurada, ou seja, o potencial de fim da vida desse material. Isso se dá porque o óxido de zinco produzido será 100% reutilizado sendo vendido ao mercado consumidor que posteriormente utilizará na produção dos fertilizantes. Em terceiro lugar, embora esteja denominado como "uso", no presente caso trata-se da quantidade de energia consumida para o processamento do ZnO propriamente dito conforme explanado anteriormente. Em penúltimo lugar encontra-se a manufatura que é entendida pelo programa como a produção do material utilizado, ou seja, a fundição do zinco SHG e da borra de zinco que já são fruto da base de dados do sistema e por fim, encontra-se o descarte que está associado diretamente ao potencial de fim de vida do produto e nesse caso como não há descarte, ele se mantém em zero. Para todos os gráficos abordados, foi estipulada a eficiência de 100% para a transformação do zinco SHG/borra de zinco no estado líquido em óxido de zinco e o detalhamento dos resultados se encontra nos apêndices.

Figura 31 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com proporções de 50% de cada uma das matérias-primas.[10]

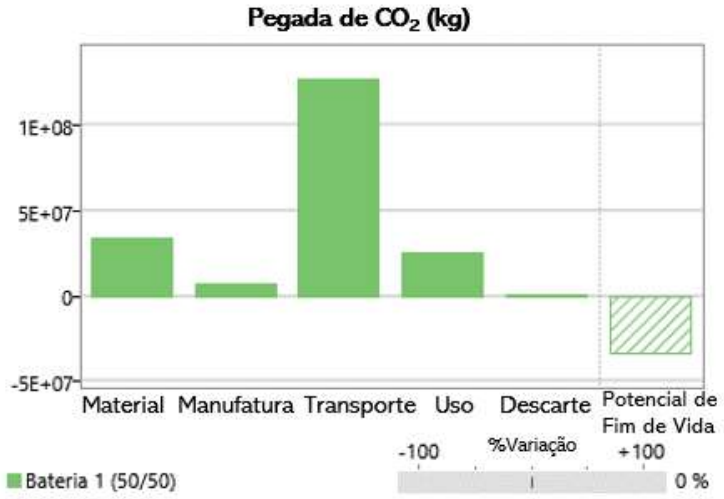


Fonte: CES EduPack®, 2019.

[10] O texto dos gráficos a respeito do programa presentes nesse trabalho se encontram na língua inglesa para manter a fidedignidade da análise dos resultados, apenas as Figura 31 e Figura 32 foram traduzidas para representar as outras simulações.

É interessante analisar que o gráfico do consumo de energia indicado na Figura 31 possui características similares ao gráfico da Figura 32 que indica a pegada de CO_2 gerada, ou seja, o transporte segue sendo a etapa que mais emite gases e o descarte se mantém zerado.

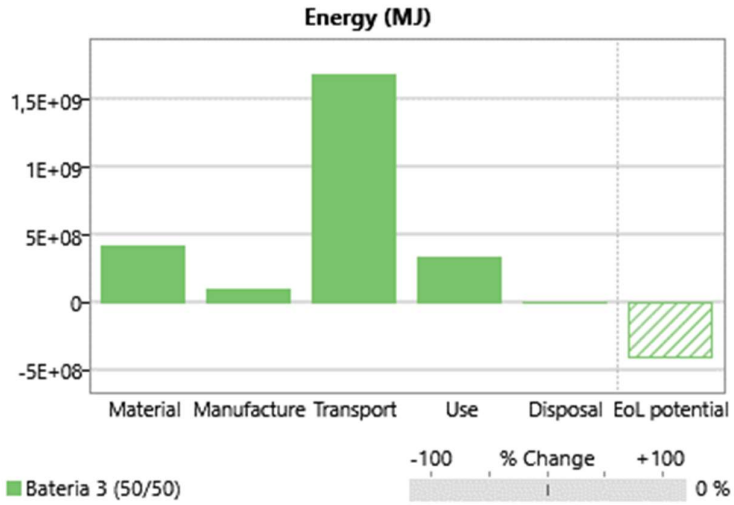
Figura 32 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com proporções de 50% de cada uma das matérias-primas.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

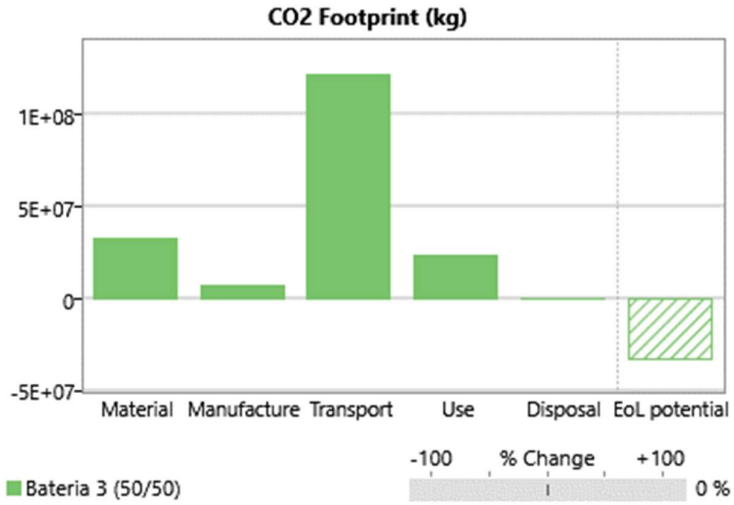
Da mesma forma, foram feitos os cálculos indicados na Tabela 3 para a bateria 3 e preenchido a tela do Eco Audit®. As Figuras 33 e 34 indicam os resultados obtidos da energia consumida e da pegada de CO_2 emitida, notando-se que as conclusões podem ser substancialmente as mesmas, seguindo a mesma ordem de gastos de energia e emissões de CO_2.

Figura 33 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 3 com proporções de 50% de borra de zinco e 50% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Figura 34 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 3 com proporções de 50% de borra de zinco e 50% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

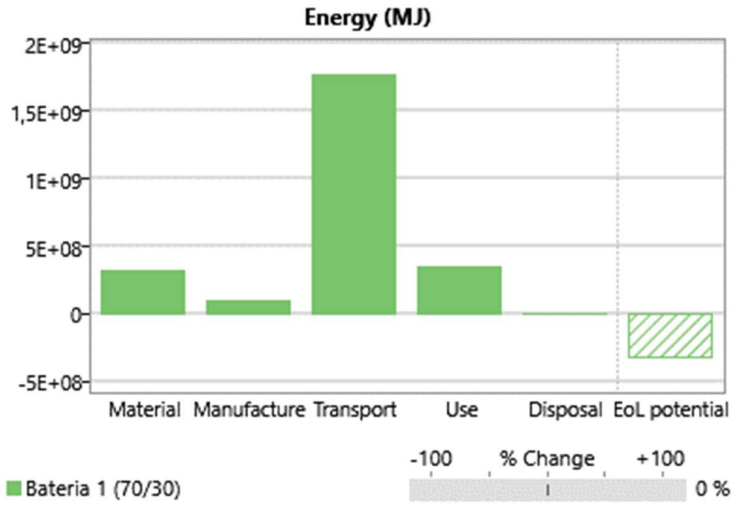
As Figuras 35 e 36 mostram a próxima simulação realizada que visa apontar o cenário da bateria 1 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. Nota-se que o transporte segue sendo a etapa que mais consome energia e que possui a pegada de carbono mais alta enquanto o descarte ainda se encontra zerado. Da mesma forma, a manufatura indica

uma pequena porcentagem da auditoria ecológica e a coluna do material corresponde ao crédito indicado na coluna do potencial de fim de vida.

A Figura 36 segue o mesmo padrão, ou seja, a auditoria ecológica para o contexto energético e para o contexto da pegada ecológica, apesar de possuir diferentes valores absolutos, levam às mesmas conclusões.

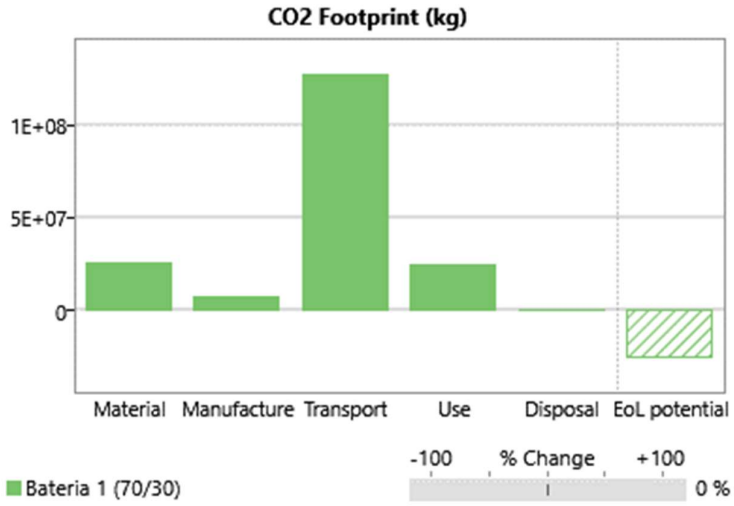
É importante ressaltar que em todas as simulações há um campo abaixo do gráfico que é indicado por uma barra cinza representada pela palavra "*change*" e seguida por porcentagens. Essas informações são relevantes quando se compara duas baterias, pois indica qual a quantidade em porcentagem que uma condição gasta/emite a mais ou a menos do que a bateria base. No caso de simulações que mostram apenas uma bateria, essas informações não são aplicáveis.

Figura 35 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

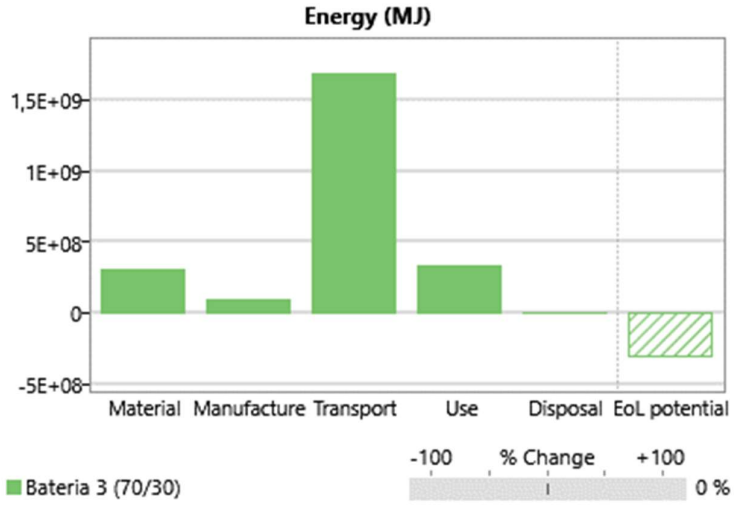
Figura 36 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

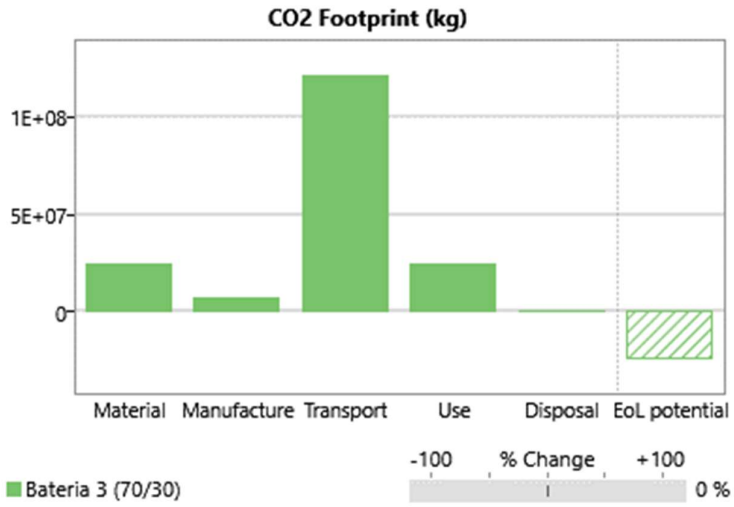
As Figuras 37 e 38 indicam o cenário da bateria 3 com as proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG seguindo novamente o mesmo padrão observado para as simulações anteriores e podendo depreender as mesmas conclusões.

Figura 37 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 3 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

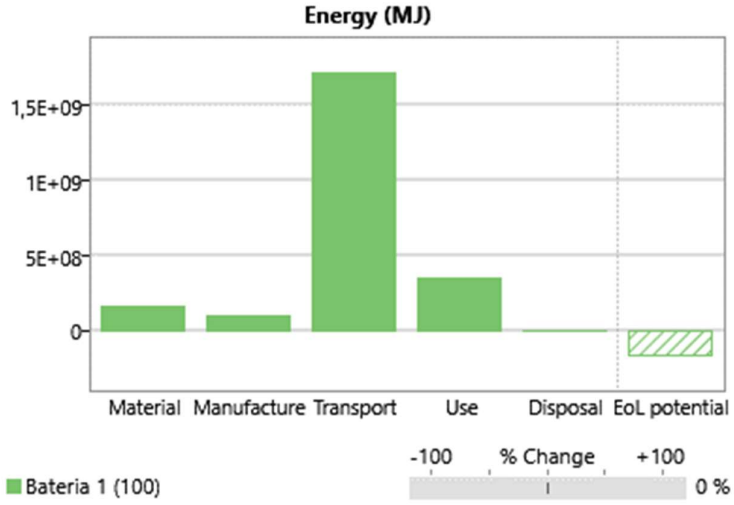
Figura 38 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 3 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

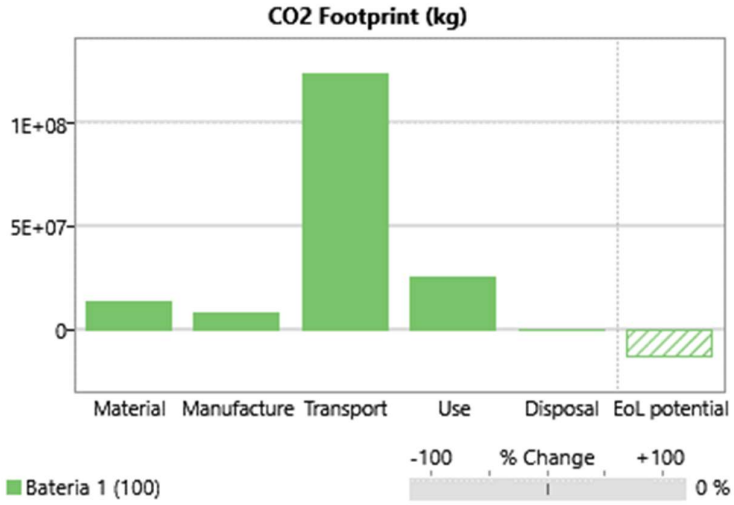
Os resultados da simulação da bateria 1 com 100% de alimentação dos fornos com borras de zinco podem ser analisados nas Figuras 39 e 40. Nesse caso é possível analisar que a coluna do material possui valor absoluto menor do que as simulações anteriores já que a borra de zinco é um material reciclado proveniente de outros processos industriais e não há nenhuma parte de zinco puro envolvida no processo. Assim, a coluna do uso (processamento) é superior ao do material, se tornando a segunda maior coluna da auditoria ecológica, novamente ficando atrás do transporte. Mais uma vez o gráfico da pegada de carbono segue o mesmo padrão dos resultados energéticos.

Figura 39 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com 100% de borra de zinco.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Figura 40 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com 100% de borra de zinco.

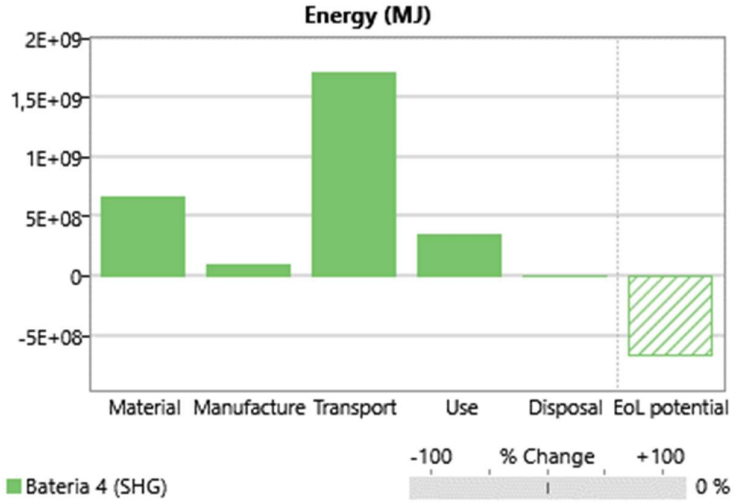


Fonte: CES EduPack®, 2019.

A última simulação isolada representa a bateria 4 que é alimentada somente com zinco SHG. O resultado para o contexto energético pode ser observado na Figura 41 e para o contexto de emissão de pegada de carbono na Figura 42. Nesse caso, a matéria-prima é 100% virgem e por isso a coluna do material é a segunda maior em ambos os contextos. Desse modo, o

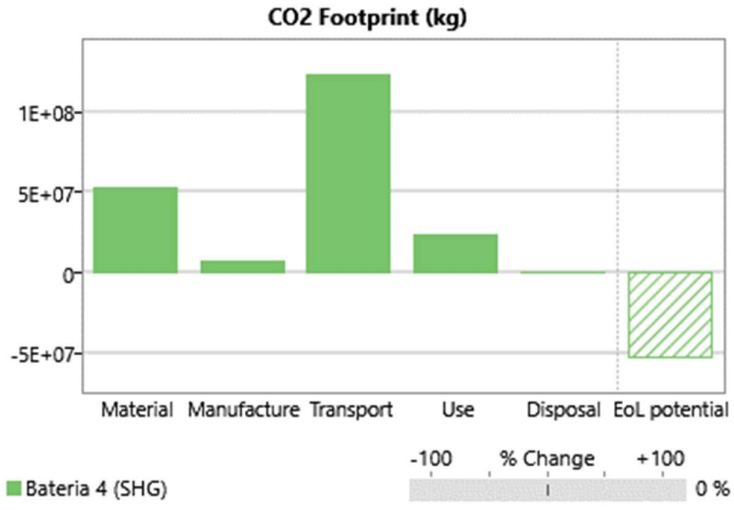
potencial de fim de vida possui um crédito maior embora o transporte ainda tem a maior parcela no total.

Figura 41 – Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 4 com 100% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Figura 42 – Pegada de CO_2 em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 4 com 100% de zinco SHG.



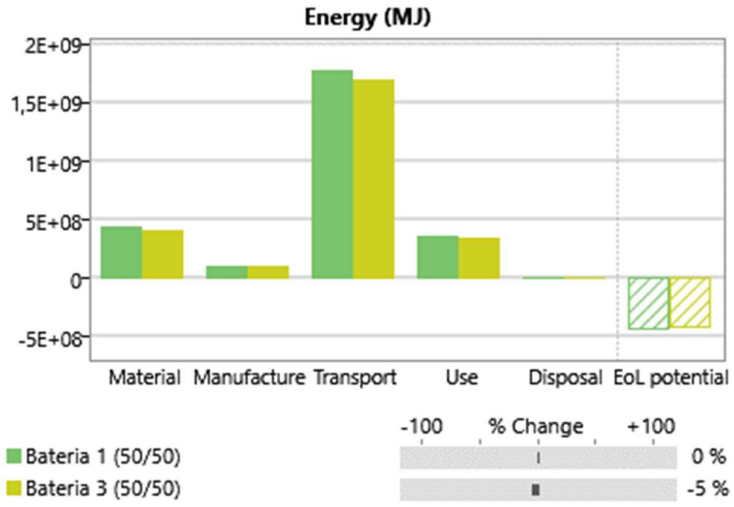
Fonte: CES EduPack®, 2019.

As Figuras 43 e 44 dão início às comparações entre os diversos cenários apresentados. A primeira delas indica a bateria 1 e a bateria 3, ambas com 50% de cada uma das matérias-

primas. Nesse caso, é possível notar que a bateria 3 indicada na cor amarela possui valores absolutos menores do que a bateria 1 indicada em verde nos campos de material, uso e potencial de fim de vida. Essa diferença se dá pela quantidade de fornos que compõe cada uma das baterias, ou seja, a bateria 1 possui mais fornos do que a bateria 3 e por isso a quantidade produzida é maior. Analisando a coluna do potencial de fim de vida percebe-se que a diferença entre as baterias 1 e 3 é a mesma do campo de material, pois esse gasto/emissão para as matérias-primas é contabilizado como um crédito ao final do processo já que o material será comercializado para outra área (fertilizantes).

Além disso, a diferença da coluna do transporte é um caso tratado separadamente. Isso se dá porque o meio de transporte alimentado no programa é exatamente o mesmo para os dois cenários e a distância percorrida também é a mesma, ou seja, não há influência da quantidade de ZnO produzido. Assim, a coluna de gasto energético e de emissão de CO_2 para o transporte nas duas situações deveria ser exatamente a mesma, mas há uma discrepância no cálculo do CES EduPack®, podendo ser configurado um *"bug"*[11] do sistema. Por fim, ao comparar a coluna da manufatura das duas baterias, nota-se que o valor absoluto é o mesmo, pois esses são dados computados pelo próprio programa.

Figura 43 - Comparação das energias consumidas entre as baterias 1 e 3, ambas com proporções de 50% de cada uma das matérias-primas.



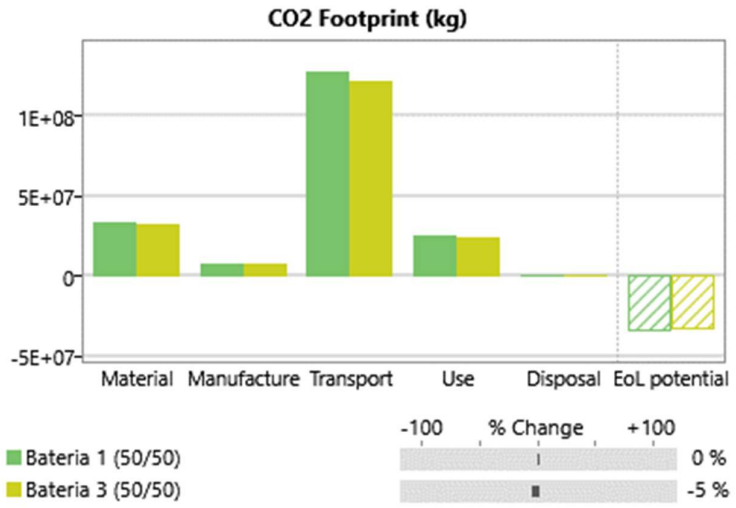
Fonte: CES EduPack®, 2019.

[11] O termo bug remonta ao tempo do Eniac, um dos primeiros computadores que, quando apresentava alguma problema tinha como origem um inseto (bicho) que estava no seu interior. O significado de erro permaneceu.

Assim como nas outras simulações realizadas, o resultado da emissão da pegada de carbono segue o mesmo padrão das emissões energéticas e pode-se depreender as mesmas conclusões.

A partir das Figuras 43 e 44, as barras cinzas abaixo do gráfico irão proporcionar informações úteis. Assim, em todos os casos analisados a coluna verde indica o cenário que é tomado como base. Nessa comparação, é possível notar que a bateria 3 gasta 5% menos energia e emissão de pegada de carbono em relação à bateria 1 pela quantidade maior de borra de zinco utilizada.

Figura 44 - Comparação das pegadas de CO_2 entre as baterias 1 e 3, ambas com proporções de 50% de cada uma das matérias-primas.



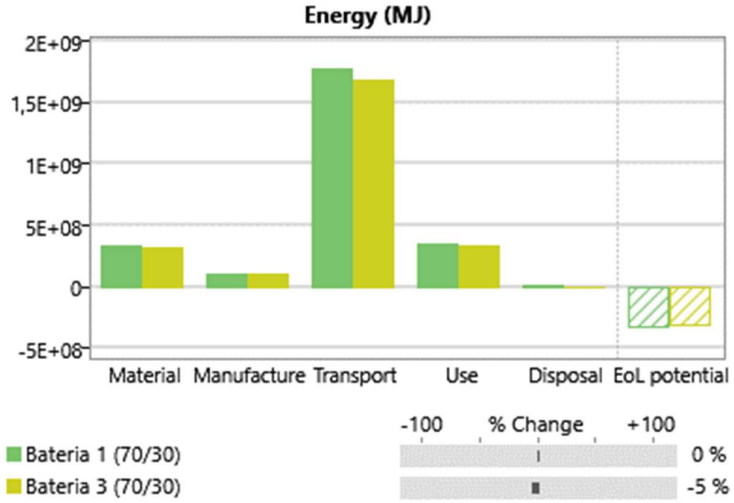
Fonte: CES EduPack®, 2019.

Do mesmo modo, as Figuras 45 e 46 indicam a comparação da bateria 1 e 3 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. Dessa maneira, os resultados se mantêm similares com a comparação anterior, isto é, o material, uso e potencial de fim de vida da bateria 1 indicada em verde possuem maiores gastos energéticos e pegada de carbono que os do cenário da bateria 3 indicado em amarelo. Outro ponto é que o gasto energético e pegada de carbono da bateria 3 é 5% menor do que a bateria 1 indicada na parte inferior do gráfico. A explicação de todos esses apontamentos envolve a maior produtividade da bateria 1, novamente pela maior quantidade de fornos presentes.

O campo do transporte segue sendo um erro de cálculo do programa e o campo do potencial de fim de vida ainda representa a coluna do material só que contabilizado como forma

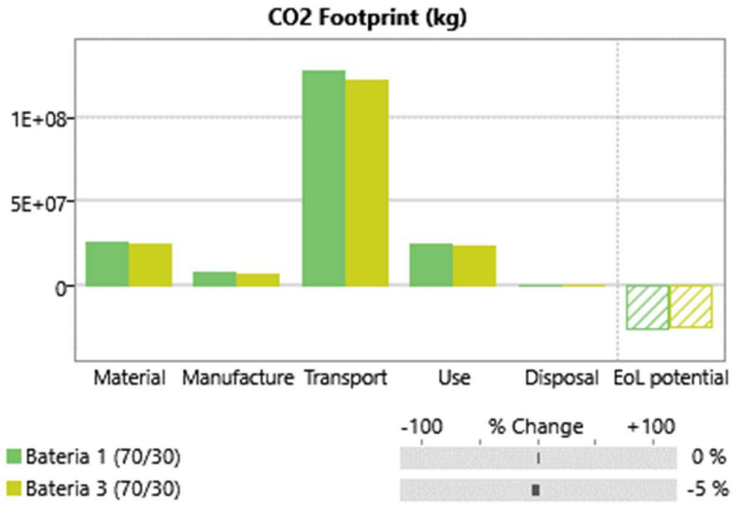
de crédito. Assim, o gráfico da emissão de pegada de carbono leva a conclusões similares às da emissão de energia, tais colunas possuem a mesma ordem de gasto/emissão.

Figura 45 – Comparação das energias consumidas entre as baterias 1 e 3, ambas com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Figura 46 – Comparação das pegadas de CO_2 entre as baterias 1 e 3, ambas com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.



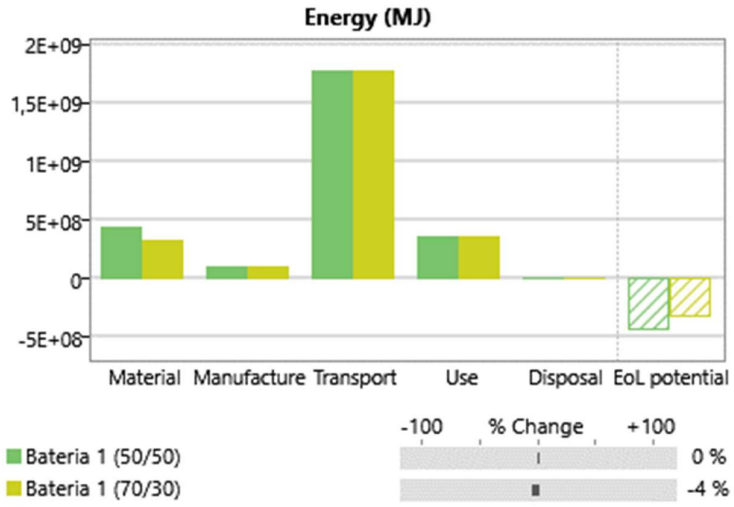
Fonte: CES EduPack®, 2019.

A comparação das Figuras 47 e 48 envolve o cenário da bateria 1 para ambos os casos, porém com proporções iguais das matérias-primas e com proporções de 70% de borra de zinco

e 30% de zinco SHG. É possível notar que as colunas de manufatura, transporte, uso e descarte se mantiveram com os mesmos valores absolutos e apenas na coluna do material houve uma diferença significativa. O motivo dessa diferença é o aumento da quantidade de material secundário utilizado, ou seja, na coluna amarela que representa o uso de 70% de borra de zinco, os consumos energéticos e pegada de carbono são menores bem como o crédito do potencial de fim de vida também é menor, proporcionalmente. Outro ponto a se notar envolve o fato de que o erro de cálculo do programa na coluna do transporte não se aplica quando a comparação é dada entre mesma bateria como nesse caso.

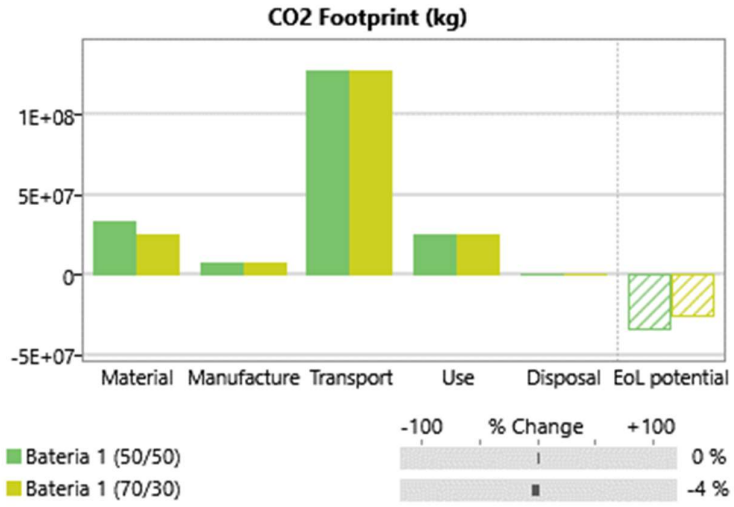
Ao comparar a mesma bateria, mudando apenas a quantidade de material reciclado alimentado no forno, nota-se que a porcentagem de emissão de energia e de pegada de carbono permeia na faixa de 4%.

Figura 47 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas e 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

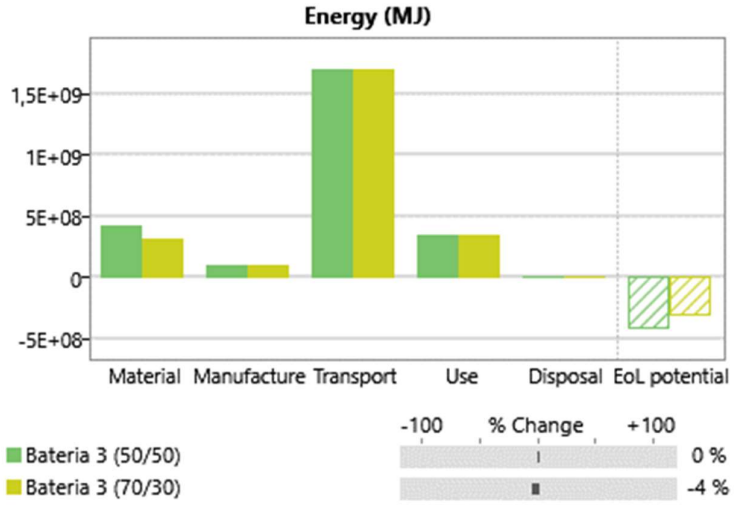
Figura 48 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas e 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

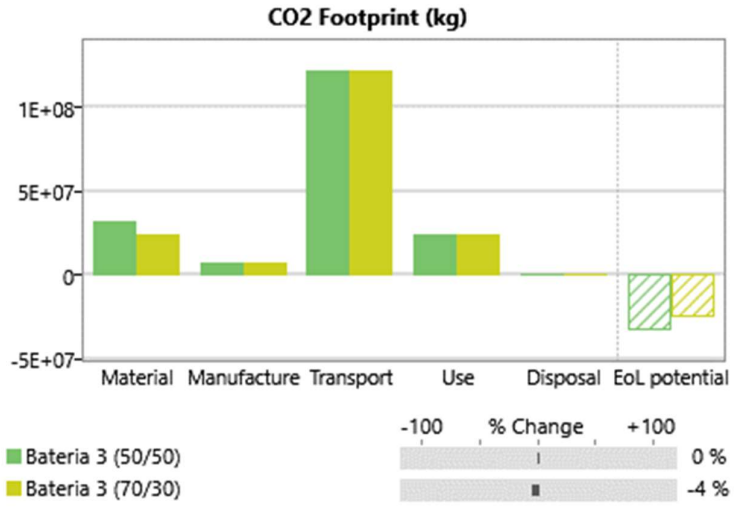
As Figuras 49 e 50 comparam o cenário da bateria 3 para ambos os casos, porém com proporções iguais das matérias-primas e com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG. Os resultados obtidos e as conclusões acerca dos gráficos do gasto energético e pegada de carbono são substancialmente os mesmos da comparação com a bateria 1, incluindo a porcentagem de gasto energético e de pegada de carbono.

Figura 49 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 3 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas e 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Figura 50 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 3 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas e 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

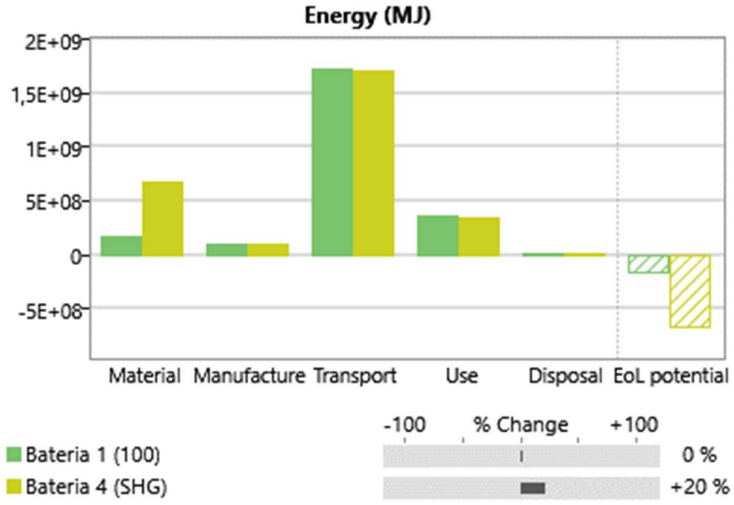
A última comparação dada é composta pela bateria 1 com o cenário produtivo de 100% de borra de zinco e pela bateria 4 com 100% de zinco SHG, indicados nas Figuras 51 e 52. Nesse caso, é possível perceber que a coluna do material engloba a maior diferença entre os dois modos produtivos, ou seja, ao utilizar 100% de zinco virgem, o consumo energético e a emissão de CO_2 são significativamente superiores à utilização de material somente reciclado, por outro lado, a quantidade de crédito indicada no potencial de fim de vida também é superior.

A mínima diferença observada na coluna do transporte segue o padrão observado anteriormente de erro de cálculo do programa e a coluna da manufatura se mantém igual pelo cálculo padronizado do sistema. Da mesma forma, os resultados das emissões que levam a uma maior pegada de carbono são basicamente os mesmos do consumo de energia.

Nessa última comparação, é possível perceber que as barras em cinza abaixo do gráfico indicam as maiores porcentagens entre todas as outras, ou seja, o gasto de energia e emissão de carbono para a bateria composta apenas por zinco puro representa 20 e 22% a mais, respectivamente, do que a bateria composta apenas por material reciclado.

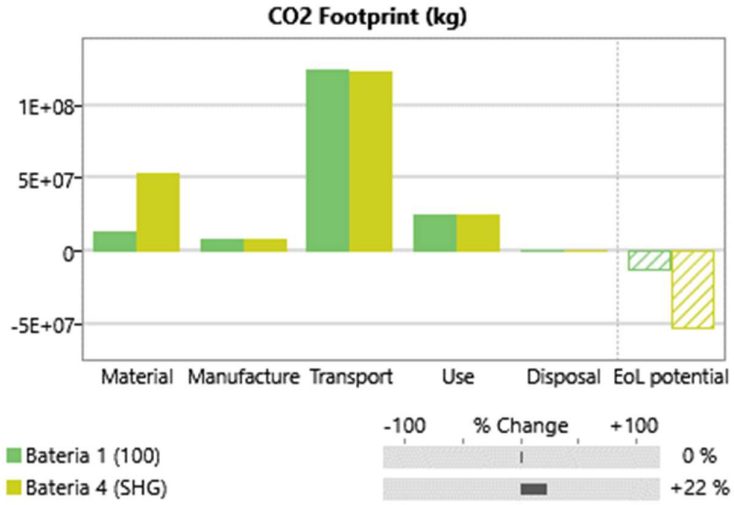
Há de se mencionar também que o custo da matéria-prima reciclada é inferior ao custo da matéria-prima virgem. Apesar de o zinco SHG ser produzido na própria empresa, se for comparado o seu valor de mercado com o da compra da borra de zinco, nota-se que há uma diferença significativa. Então além de todas as conclusões já indicadas, há ainda uma economia em relação a compra da matéria-prima.

Figura 51 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 1 com proporção de 100% de borra de zinco e a bateria 4 com 100% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Figura 52 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 1 com proporção de 100% de borra de zinco e a bateria 4 com 100% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

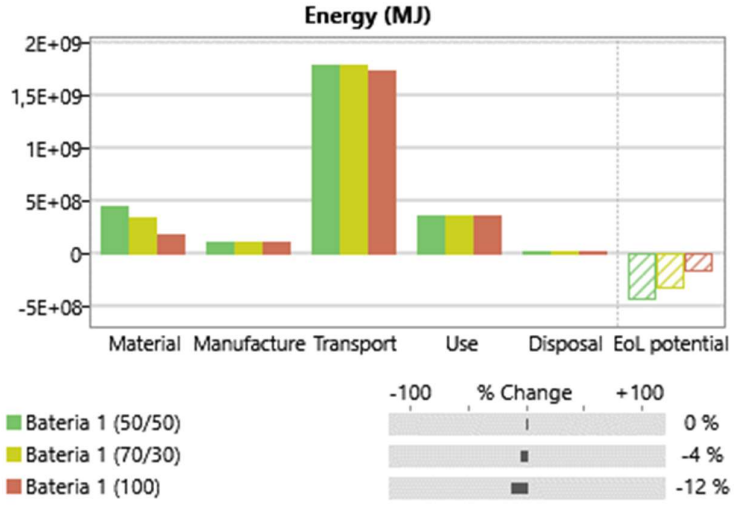
A primeira comparação entre três cenários diferentes envolve a bateria 1 com os três tipos de produção, ou seja, 50% de ambas as matérias-primas; 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG e 100% de borra de zinco e podem ser analisadas nas Figuras 53 e 54. Nesse caso, é possível notar que as colunas da manufatura, do uso (processamento) e do descarte se mantêm exatamente as mesmas por cálculos oriundos do sistema.

Para a coluna do transporte, os valores deveriam ser absolutamente os mesmos novamente já que foram alimentados na base do programa com as mesmas distâncias percorridas e mesmo tipo de caminhão utilizado, porém houve uma discrepância de cálculo.

A coluna do material indica a maior diferença observada, ou seja, quanto mais material reciclado é utilizado, há menos gasto de energia e menos emissão de carbono. Assim, a coluna verde que indica apenas 50% de uso de borra de zinco é a superior, a coluna amarela com 70% de uso de borra de zinco é intermediária e a coluna vermelha com 100% de uso desse material é a menor de todas. Da mesma forma, o crédito do potencial de fim de vida segue essa ordem.

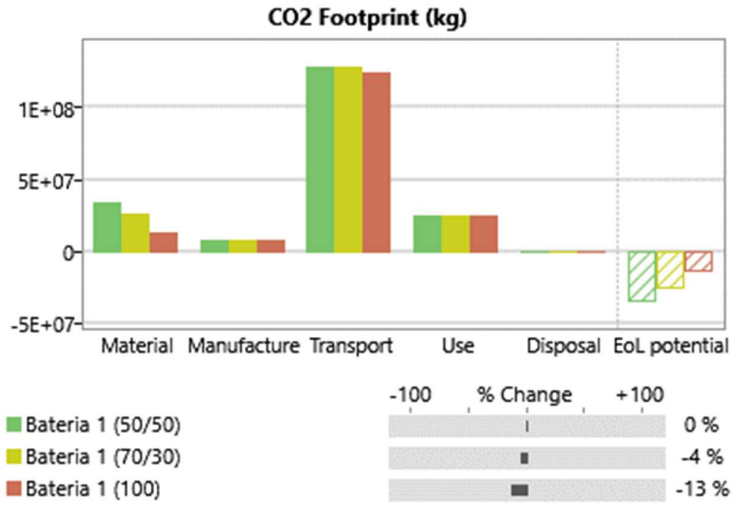
A bateria composta apenas por borra de zinco representa um gasto energético de 12% a menos do que a bateria composta pela mesma quantidade de borra de zinco e de zinco SHG e 13% a menos no caso da pegada de carbono. No caso da bateria com 70% de borra de zinco, como analisado anteriormente, ela representa 4% a menos tanto na energia quanto na pegada de carbono. O gráfico com os resultados da pegada de carbono segue substancialmente as mesmas conclusões e ordens de gastos/emissões.

Figura 53 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas; 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG e 100% de borra de zinco.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Figura 54 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas; 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG e 100% de borra de zinco.



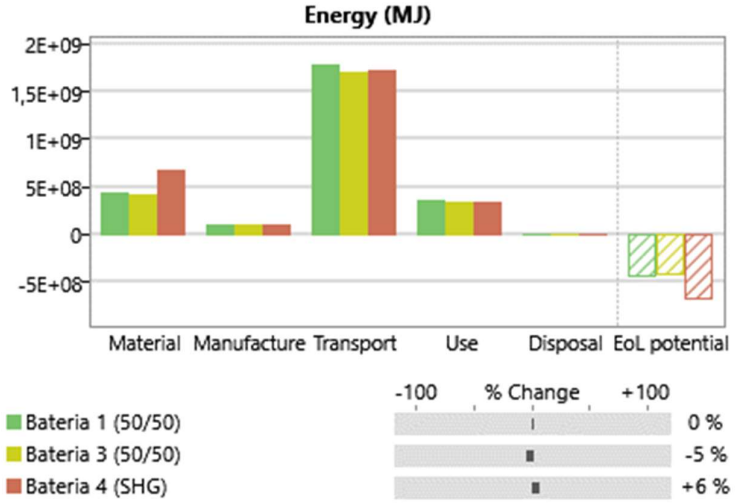
Fonte: CES EduPack®, 2019.

A simulação dada nas Figuras 55 e 56 indicam a comparação dos cenários da bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas; bateria 3 com a mesma proporção e bateria 4 com 100% de zinco SHG. Os resultados indicam novamente que a situação em que há menor quantidade de material secundário, como é o caso da coluna vermelha que é composta apenas por zinco virgem, consome mais energia e possui maior pegada de carbono do que as baterias que possuem metade do material alimentado como a borra de zinco. Além disso, o potencial de fim de vida segue a mesma proporção, indicando que a bateria 4 que mais consome energia e possui maior pegada de carbono possui também o maior crédito já que o material será comercializado e utilizado novamente sem nenhuma perda na indústria de fertilizantes. A discrepância mínima na coluna do material entre as baterias 1 e 3 se dá pela quantidade de fornos e de produtividade ser maior na bateria 1 e a manufatura segue sendo a mesma já que é o cálculo do sistema. A coluna de uso possui a mesma explicação relacionada a quantidade de fornos das baterias como mencionado anteriormente.

A coluna de transporte novamente indica um erro de cálculo do programa e deveria ser considerada a mesma para os três cenários já que os dados são exatamente os mesmos. No caso da coluna de descarte, segue sendo zero visto que não é descartada nenhuma parte do material produzido.

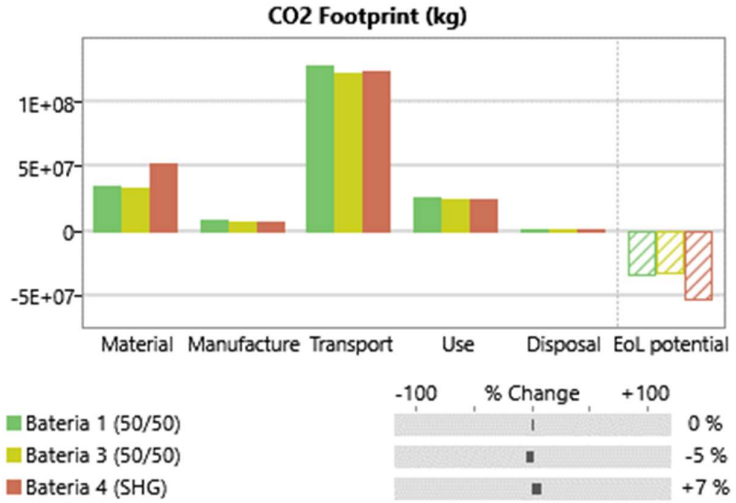
A bateria composta apenas por zinco puro representa 6 e 7% a mais em gastos de energia e de pegada de carbono, respectivamente, em comparação com a bateria composta por 50% dos dois materiais.

Figura 55 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas; bateria 3 com a mesma proporção e bateria 4 com 100% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

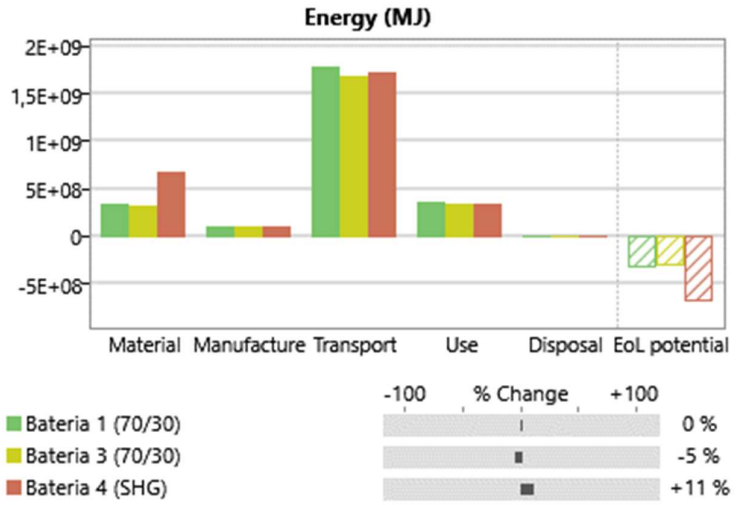
Figura 56 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 1 com proporção de 50% de ambas as matérias-primas; bateria 3 com a mesma proporção e bateria 4 com 100% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

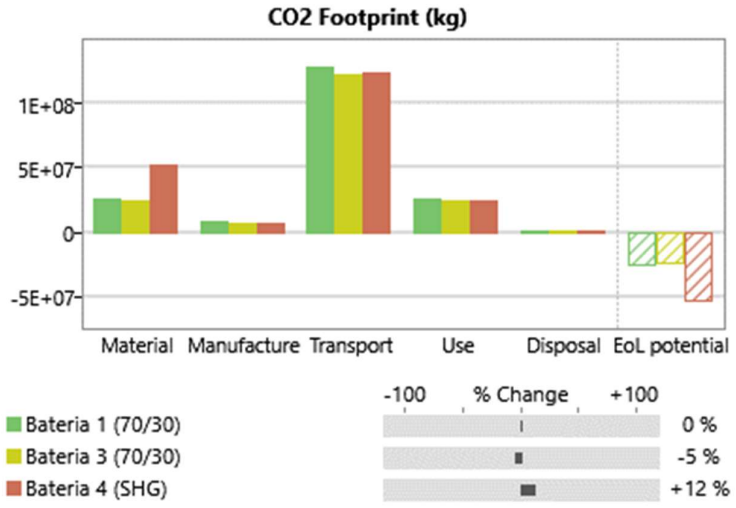
A última comparação feita se dá entre os cenários da bateria 1 com proporção de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG; bateria 3 com a mesma proporção e bateria 4 com 100% de zinco SHG e podem ser analisadas nas Figuras 57 e 58. É possível afirmar que as conclusões e análises feitas para as simulações anteriores também se aplicam a esse caso.

Figura 57 – Comparação das energias consumidas entre a bateria 1 com proporção de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG; bateria 3 com a mesma proporção e bateria 4 com 100% de zinco SHG.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Figura 58 – Comparação das pegadas de CO_2 entre a bateria 1 com proporção de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG; bateria 3 com a mesma proporção e bateria 4 com 100% de zinco SHG.



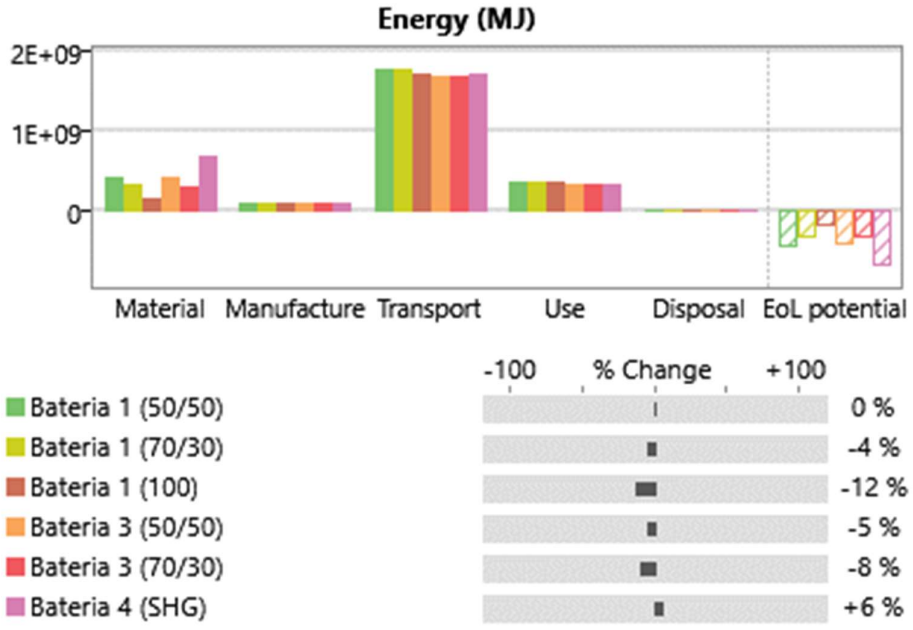
Fonte: CES EduPack®, 2019.

Ao reunir todas as simulações em apenas um gráfico de energia e de pegada de carbono (Figuras 59 e 60), é possível observar e comparar a energia consumida, em MJ, e a pegada de carbono, em quilograma, para os seis cenários.

É possível observar que quanto mais material secundário é utilizado na produção do óxido de zinco, menor é o gasto energético e a emissão da pegada de carbono, ou seja, a coluna indicada em rosa que representa a bateria 4 com utilização de 100% de zinco puro é a que possui o maior valor absoluto de energia e de pegada de carbono.

Já as baterias 1 e 3 apresentam um comportamento caracterizado pelo consumo de energia em segundo lugar porque utilizam a borra de zinco (em 50%), material esse oriundo da galvanização ou de siderúrgicas enquanto o restante é o zinco puro (SHG). Quando a porcentagem de borra de zinco aumenta para 70%, há uma redução na energia consumida e por fim quando se utiliza apenas a borra de zinco tem-se a menor quantidade de energia consumida no processo, ou seja, no que diz respeito ao material utilizado para a fabricação do óxido de zinco a utilização da borra de zinco na proporção de 100% é vantajosa em relação às demais.

Figura 59 – Comparação da auditoria ecológica do óxido de zinco em relação a energia consumida para seis diferentes cenários.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Com relação aos demais parâmetros, ou seja, manufatura, transporte, uso e descarte, os valores são aproximadamente iguais. Isso porque tais parâmetros independem da matéria-prima

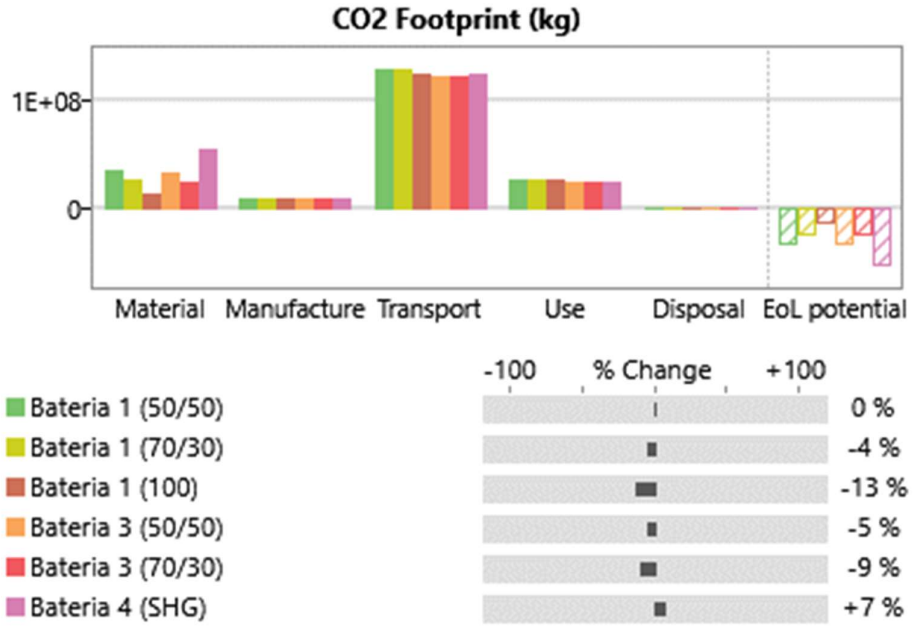
utilizada na produção do óxido de zinco. Contudo, ao observar o consumo total de energia e ao comparar as diferentes matérias-primas utilizadas na produção do óxido de zinco, o uso de borra oriunda da galvanização ou de siderúrgicas contribui para diminuir o impacto ambiental. Isso pode ser observado nas Figuras 59 e 60 na sua região inferior, indicado pela palavra "*change*".

As porcentagens indicadas nas barras cinzas representam o quanto de energia consumida ou de pegada de carbono é valorado a mais ou a menos do que a coluna da qual está sendo comparada que é sempre representada em verde. Isto é, tomando como base os valores de consumo de energia e de emissão de carbono da bateria 1 com proporções de 50% de borra de zinco e 50% de zinco SHG (indicado em verde), a bateria 1 com proporções de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG (indicado em amarelo) possui 4% a menos de consumo energético e de pegada de carbono. Enquanto isso, se se comparar a coluna rosa que representa a bateria 4 composta apenas por zinco puro, ela gasta e emite 6% a mais de energia e de pegada de carbono.

Nota-se também que ao se utilizar apenas borra de zinco, há uma redução de 12% na energia necessária para a produção do óxido de zinco e 13% na emissão de CO_2. A regra geral indica que ao se utilizar uma quantidade maior de borra de zinco, há redução na energia necessária para a produção do óxido de zinco e da pegada de carbono quando comparada com os parâmetros necessários para sua produção a partir do zinco puro (SHG).

De um lado, o uso do zinco puro (SHG) como matéria-prima leva a produção do óxido de zinco de alta pureza (óxido de zinco FE), enquanto o uso de borra de zinco produz um óxido de zinco com menor pureza (óxido de zinco FERT). Por outro lado, o uso de borra de zinco gera uma economia de cerca de 30% no custo da matéria-prima, sendo esse o principal motivo no qual ela é utilizada. Entretanto, quando se observa o cálculo do potencial final de vida (*EoL potential*) há um benefício substancial com o uso da borra de zinco.

Figura 60 – Comparação auditoria ecológica do óxido de zinco em relação a pegada de CO_2 para seis diferentes cenários.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

4.1 APLICAÇÃO DOS CINCO PASSOS DE ASHBY

Após a caracterização do óxido de zinco e a análise das simulações, pode-se aplicar os cinco passos de Ashby. Conforme desenvolvido na metodologia, Ashby (2016) em seu livro *"Materials and Sustainable Development"* explica de que forma os cinco passos podem ajudar o desenvolvedor do projeto a pensar de forma racional e subjetiva em diversos pontos que às vezes são esquecidos nas reflexões acerca de um projeto.

Assim, o passo 1 indica o objetivo do projeto e nesse caso é analisar a auditoria ecológica do óxido de zinco criada pela ferramenta Eco Audit® do *CES EduPack*® e considerar os impactos e as mudanças possíveis dessa aplicação na indústria do agronegócio. Além disso, é preciso estipular uma escala de tempo e de tamanho para esse problema. A escala de tempo no presente estudo não foi adotada porquanto a caracterização por si só garante algo que ainda não se sabia que é a medição do quanto o processamento do óxido de zinco tem importância na auditoria ecológica de toda a cadeia produtiva e de que modo qualquer ação procurando reduzir a emissão de gases de efeito estufa e o consumo de energia poderia vir a reduzir no todo a pegada de carbono e a energia consumida na sua produção.

Ao aplicar o segundo passo que visa reunir os dados e estabelecer quem são os *stakeholders*, foi possível depreender que as bases de dados como a ONU, OCDE, OMS e informações cedidas pela Nexa Recursos Minerais S.A formam boas fontes que satisfizeram as exigências do projeto. Ademais, como o objetivo em questão é analisar uma auditoria ecológica e não mudar algum material ou processo, os *stakeholders* nessa abordagem são as pessoas que trabalham na produção do óxido de zinco e possuem as preocupações voltadas a produtividade da empresa e qualidade do material produzido; são os clientes que compram esse material para posteriormente produzir os fertilizantes para plantas e suas preocupações giram em torno do preço do produto adquirido e da sua qualidade; também são os fornecedores das matérias-primas para a produção ou fornecedores das máquinas utilizadas nos processos que se preocupam com a produtividade da empresa a fim de fornecer cada vez mais insumos; são aqueles que irão vender o material ou fazer a assistência técnica do produto novamente visando a qualidade do produto e o preço a ser comercializado; a logística envolvida no processo que se preocupa com a quantidade vendida e os destinos dos consumidores e, por fim, as pessoas envolvidas na legislação caso haja alguma influência relevante.

Para o passo 3, a demanda principal era obter as informações acerca do material utilizado, da manufatura, transporte, produção do óxido de zinco e do fim da vida do material/substância para caracterização da auditoria ecológica. Para isso, foi realizada uma visita técnica à planta da Nexa Recursos Minerais S.A localizada na cidade de Três Marias em Minas Gerais para observação do processo produtivo e obtenção de informações relevantes de consumo, desgaste de materiais, troca e compra de matérias-primas usadas na produção, distância percorrida pelos caminhões ao ser realizado o transporte do ZnO para o mercado consumidor, validade de armazenamento do produto, quantidade de óleo consumido nos fornos que aquecem o zinco para transformá-lo em óxido e informações comerciais.

Além das informações produtivas e comerciais, a pesquisa também levou ao entendimento do zinco como um elemento importante na natureza e na vida dos seres vivos. Assim, foi feito um estudo conduzido no próprio CES EduPack® que permite comparar a mortalidade infantil nos países da base de dados do programa com a taxa de crescimento econômico, com o uso das terras agriculturáveis e com a pegada ecológica per capita que estão indicadas nas Figuras 11, 12 e 13.

No passo 4, deve-se relacionar os três capitais com o presente projeto. Dessa maneira, ao pensar no capital humano, ou seja, na saúde das pessoas e animais que consomem os alimentos, seja em plantas ou em carnes, e que são advindos do uso de fertilizantes, ainda que de maneira indireta, depreende-se que não faz diferença o uso do zinco SHG ou das borras nas

produções de ZnO. Em relação ao capital natural, do ponto de vista ambiental, o zinco SHG possui a maior pegada de carbono, porém há um retorno maior, ou seja, o crédito do potencial de fim de vida é maior. Por outro lado, quando se usa o zinco puro, a pegada de carbono de partida é maior do que ao utilizar a borra.

Ao analisar o capital de manufatura, a principal questão envolve o gasto produtivo em relação ao uso das borras de zinco e do zinco SHG. Como as borras de zinco são provenientes de outros processos industriais, elas são adquiridas com valor inferior ao zinco SHG; desse modo, o material produzido nas baterias 1 e 3 que utilizam o zinco secundário são mais comercializados com preço inferior e consequentemente possuem mais impurezas. Além disso, não há aumento na produtividade caso se use apenas borra de zinco ou apenas zinco puro. Circunstancialmente, há situações em que é possível a produção do ZnO apenas com borra proveniente das siderúrgicas.

Na última etapa dos passos de Ashby, a discussão envolveria uma resposta a dar, ou seja, se é possível ou não trocar algum material ou processo no cenário estudado. Entretanto, ao retomar o objetivo do passo 1 percebe-se que em um mapeamento a resposta final não envolve 'sim' ou 'não', envolve reflexões acerca de qual etapa do processo gasta mais ou menos energia, dinheiro, recursos naturais e mão de obra.

A caracterização feita no presente trabalho mostrou que ao se usar um cenário produtivo composto por 100% de material reciclado, ou seja, a borra de zinco, há uma economia tanto em gasto energético como na pegada de carbono e em gastos financeiros, já que o material reciclado custa substancialmente menos do que o zinco puro. Para o cenário produtivo composto apenas por zinco SHG, o óxido de zinco obtido possui maior pureza e pode ser utilizado na indústria de cosméticos e cerâmicas, que não envolvem o escopo do trabalho.

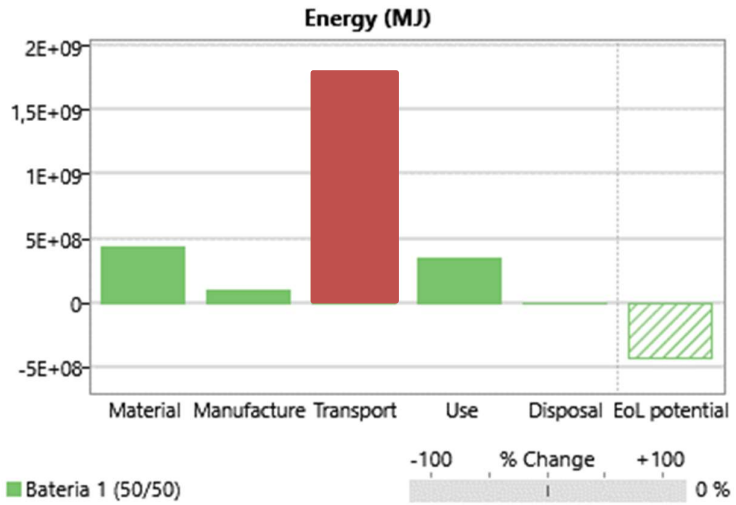
Segundo o CES EduPack®, a primeira coluna a ser analisada no gráfico é a que indica a maior porcentagem de gasto energético/pegada de CO_2 que no caso é o transporte conforme pode ser observado na Figura 61. O modo de reduzir os impactos ambientais passaria, portanto, no transporte do material ao mercado consumidor. Pode-se sugerir a troca do meio de transporte: em vez de se utilizar caminhões, poderia se usar os transportes ferroviário ou fluvial e estudar se esses meios seriam mais baratos. Porém, de acordo com o Ministério da Infraestrutura, em documento de 2020, não há qualquer previsão de construção de linhas ferroviárias nas rotas desse produto. Além disso, de acordo com o documento de título Acompanhamento das Realizações do Ministério da Infraestrutura (2020), há uma ação chamada "Inclusão de trechos de rodovias federais, no âmbito do PND (Plano Nacional de Desestatização), pelo PPI (Programa de Parcerias de Investimentos)" que visa a inclusão de

trechos de rodovias federais, no âmbito do Programa Nacional de Desestatização e entre elas está a BR-040/MG/RJ que é a principal rodovia de acesso à cidade de Três Marias – MG e caso seja desestatizada pode provavelmente encarecer o custo do transporte rodoviário, à semelhança do que ocorreu com outros processos de desestatização.

O relatório anual de 2018, publicado em outubro de 2019 pela Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias, que representa o setor de concessões de rodovias por mais de 47 empresas privadas já leva em conta essa desestatização, como pode ser observado na página 8 desse documento. De um lado, haveria melhores condições para o tráfego e, consequentemente, uma redução no tempo gasto para o transporte até o mercado consumidor e possivelmente redução no consumo de combustível e de outro um aumento nos custos por conta do pedágio, afetando a competitividade do setor.

Outro documento recente de maio de 2020 da Confederação Nacional do Transporte mostrou que as empresas do setor não envidaram ações para promover a integração modal: cerca de 83% dos entrevistados (em um universo de 780 empresas do transporte rodoviário de cargas, transporte ferroviário, transporte aéreo e aquaviário) afirmaram não terem trabalhado com integração modal no ano de 2019.

Figura 61 - Energia consumida em cada uma das etapas analisadas pela ferramenta de auditoria ecológica para o cenário da bateria 1 com proporções de 50% de cada uma das matérias-primas com destaque em vermelho para o setor que consome mais energia, o transporte.



Fonte: CES EduPack®, 2019.

Como não há, portanto, no horizonte dos próximos anos, opção de mudança do transporte ou qualquer ação no sentido da integração modal e já foi discutida a influência do

material no tópico de resultados, pensou-se na redução energética do uso, que no caso é o processamento do óxido de zinco. Em vez de óleo BPF, poder-se-ia pensar em adotar o gás natural como combustível. Esse combustível possui um poder calorífico superior ao do óleo e assim gastaria menos energia para promover o aquecimento e levar com êxito o processamento do óxido de zinco, reduzindo simultaneamente a pegada de carbono em todo o processo (com exceção do material de partida). Uma ação nesse sentido provocaria uma mudança em boa parte das máquinas e equipamentos da linha de produção para comportar o gás natural em vez do óleo. De todo modo, essa ação pode ser adotada no futuro e utilizando a mesma ferramenta de auditoria ecológica do programa, mas com o propósito de substituição de combustível de alimentação dos fornos assim como foi indicado no estudo de caso do tópico 2.4.2.1 do presente trabalho. Nesse último caso, há de se também estudar os custos envolvidos no projeto da fábrica, sua implantação e amortização do investimento, que fogem do escopo do presente trabalho, mas que podem servir de algum modo para a redução na pegada de carbono e no consumo de energia.

5 CONCLUSÕES

As conclusões estão subdivididas por baterias e a comparação entre elas, levando em conta a visita técnica e a auditoria ecológica por meio do CES EduPack®, na sub-rotina Eco Audit®, as seguintes conclusões podem ser depreendidas:

5.1 BATERIA 1 COM PROPORÇÃO DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG

- A maior quantidade de energia consumida na produção do ZnO (66,6%) para a proporção 50% de borra e 50% de zinco SHG corresponde, na realidade, ao transporte do ZnO para os consumidores;
- A maior pegada de carbono (65,7%) para a proporção 50% de borra e 50% de zinco SHG provém do transporte do ZnO aos consumidores;
- A energia consumida para a bateria 1 contendo 50% de borra e 50% de zinco SHG vale 177,3 MJ/kg ZnO produzido;
- A pegada de carbono para a bateria 1 contendo 50% de borra e 50% de zinco SHG vale 12,9 kg CO_2/kg ZnO produzido;
- O potencial de final de vida (crédito) para a bateria 1 contendo 50% de borra e 50% de zinco SHG corresponde a quantidade consumida de energia na produção da matéria-prima, ou seja, 28,7 MJ/kg;

5.2 BATERIA 3 COM PROPORÇÃO DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG

- A maior quantidade de energia consumida na produção do ZnO (66,6%) para a proporção 50% de borra e 50% de zinco SHG corresponde, na realidade, ao transporte do ZnO para os consumidores;
- A maior pegada de carbono (65,7%) para a proporção 50% de borra e 50% de zinco SHG provém do transporte do ZnO aos consumidores;
- A energia consumida para a bateria 3 contendo 50% de borra e 50% de zinco SHG vale 181,4 MJ/kg ZnO produzido;
- A pegada de carbono para a bateria 3 contendo 50% de borra e 50% de zinco SHG vale 13,2 kg CO_2/kg ZnO produzido;

- O potencial de final de vida (crédito) para a bateria 3 contendo 50% de borra e 50% de zinco SHG corresponde a quantidade consumida de energia na produção da matéria-prima, ou seja, 29,4 MJ/kg;

5.3 BATERIA 1 COM PROPORÇÃO DE 70% DE BORRA DE ZINCO E 30% DE ZINCO SHG

- A maior quantidade de energia consumida na produção do ZnO (69,4%) para a proporção 70% de borra e 30% de zinco SHG corresponde, na realidade, ao transporte do ZnO para os consumidores;
- A maior pegada de carbono (68,6%) para a proporção 70% de borra e 30% de zinco SHG provém do transporte do ZnO aos consumidores;
- A energia consumida para a bateria 1 contendo 70% de borra e 30% de zinco SHG vale 170,0 MJ/kg ZnO produzido;
- A pegada de carbono para a bateria 1 contendo 70% de borra e 30% de zinco SHG vale 12,4 kg CO_2/kg ZnO produzido;
- O potencial de final de vida (crédito) para a bateria 1 contendo 70% de borra e 30% de zinco SHG corresponde a quantidade consumida de energia na produção da matéria-prima, ou seja, 21,7 MJ/kg;

5.4 BATERIA 3 COM PROPORÇÃO DE 70% DE BORRA DE ZINCO E 30% DE ZINCO SHG

- A maior quantidade de energia consumida na produção do ZnO (69,3%) para a proporção 70% de borra e 30% de zinco SHG corresponde, na realidade, ao transporte do ZnO para os consumidores;
- A maior pegada de carbono (68,6%) para a proporção 70% de borra e 30% de zinco SHG provém do transporte do ZnO aos consumidores;
- A energia consumida para a bateria 3 contendo 70% de borra e 30% de zinco SHG vale 173,6 MJ/kg ZnO produzido;
- A pegada de carbono para a bateria 3 contendo 70% de borra e 30% de zinco SHG vale 12,6 kg CO_2/kg ZnO produzido;

- O potencial de final de vida (crédito) para a bateria 3 contendo 70% de borra e 30% de zinco SHG corresponde a quantidade consumida de energia na produção da matéria-prima, ou seja, 21,7 MJ/kg;

5.5 BATERIA 1 COM 100% DE BORRA DE ZINCO

- A maior quantidade de energia consumida na produção do ZnO (73,4%) para 100% de borra corresponde, na realidade, ao transporte do ZnO para os consumidores;
- A maior pegada de carbono (72,9%) para 100% de borra provém do transporte do ZnO aos consumidores;
- A energia consumida para a bateria 1 contendo 100% de borra vale 156,7 MJ/kg ZnO produzido;
- A pegada de carbono para a bateria 1 contendo 100% de borra vale 11,3 kg CO_2/kg ZnO produzido;
- O potencial de final de vida (crédito) para a bateria 1 contendo 100% de borra corresponde a quantidade consumida de energia na produção da matéria-prima, ou seja, 11,2 MJ/kg;

5.6 BATERIA 4 COM 100% DE ZINCO SHG

- A maior quantidade de energia consumida na produção do ZnO (60,7%) para 100% de zinco SHG corresponde, na realidade, ao transporte do ZnO para os consumidores;
- A maior pegada de carbono (59,4%) para 100% de zinco SHG provém do transporte do ZnO aos consumidores;
- A energia consumida para a bateria 4 contendo 100% de zinco SHG vale 188,0 MJ/kg ZnO produzido;
- A pegada de carbono para a bateria 4 contendo 100% de zinco SHG vale 13,9 kg CO_2/kg ZnO produzido;
- O potencial de final de vida (crédito) para a bateria 1 contendo 100% de zinco SHG corresponde a quantidade consumida de energia na produção da matéria-prima, ou seja, 44,7 MJ/kg;

5.7 BATERIAS 1 E 3 COM PROPORÇÕES DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG

- Há uma diferença percentual de 5% entre as baterias 1 e 3 com proporção de 50% de borra de zinco e 50% de zinco SHG no transporte devido a massa alimentada ser maior na bateria 1, pois ela possui 3 fornos a mais do que a bateria 3.
- A variação no potencial de final de vida é 5% menor para a bateria 3 quando comparada com a bateria 1 para uma proporção de 50% de borra de zinco e 50% de zinco SHG.

5.8 BATERIAS 1 E 3 COM PROPORÇÕES DE 70% DE BORRA DE ZINCO E 30% DE ZINCO SHG

- Há uma diferença percentual de 5% entre as baterias 1 e 3 com proporção de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG no transporte devido a massa alimentada ser maior na bateria 1, pois ela possui 3 fornos a mais do que a bateria 3.
- A variação no potencial de final de vida é 5% menor para a bateria 3 quando comparada com a bateria 1 para uma proporção de 70% de borra de zinco e 30% de zinco SHG.

5.9 BATERIA 1 COM PROPORÇÕES DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG E 70% DE BORRA DE ZINCO E 30% DE ZINCO SHG

- A queda percentual na pegada de carbono para a bateria 1 contendo 70% de borra e 30% de zinco SHG com relação a bateria 1 contendo 50% de borra e 50% de zinco SHG é maior do que a queda percentual na energia consumida para os mesmos parâmetros;
- A variação do potencial de final de vida para a bateria 1 contendo 70% de borra e 30% de zinco SHG é 4% inferior ao potencial de final de vida para a bateria 1 contendo 50% de borra e 50% de zinco SHG;

5.10 BATERIA 3 COM PROPORÇÕES DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG E 70% DE BORRA DE ZINCO E 30% DE ZINCO SHG

- A queda percentual na pegada de carbono para a bateria 3 contendo 70% de borra e 30% de zinco SHG com relação a bateria 3 contendo 50% de borra e 50% de zinco SHG é maior do que a queda percentual na energia consumida para os mesmos parâmetros;
- A variação do potencial de final de vida para a bateria 3 contendo 70% de borra e 30% de zinco SHG é 4% inferior ao potencial de final de vida para a bateria 3 contendo 50% de borra e 50% de zinco SHG;

5.11 BATERIA 1 TODOS OS CENÁRIOS

- Quanto maior a quantidade de borra de zinco utilizada na alimentação do processo produtivo de ZnO, menor é a pegada de carbono e a quantidade de energia necessárias para o material e menor é o potencial de final de vida;

5.12 BATERIAS 1 E 3 COM PROPORÇÕES DE 50% DE BORRA DE ZINCO E 50% DE ZINCO SHG E A BATERIA 4 COM 100% DE ZINCO SHG

- A pegada de carbono é tanto maior quanto menor for a quantidade de material secundário;
- Há uma diferença entre as baterias 1, 3 e 4 no transporte devido a massa alimentada ser maior na bateria 1 que nas baterias 3 e 4;
- Quanto maior a quantidade de borra de zinco utilizada na alimentação do processo produtivo de ZnO, menor é a pegada de carbono e a quantidade de energia necessárias para o material e menor é o potencial de final de vida.

5.13 CINCO PASSOS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

- Modificação do sistema de transporte seja no rodoviário ou integração modal permitiria uma redução na pegada de carbono e no consumo de energia;
- Nos cenários analisados, a borra de zinco 100% representa menor pegada de carbono devido à diminuição da pegada de carbono na matéria-prima;

- Mudança do óleo para o gás reduziria igualmente a pegada de carbono, mas seu peso relativo na pegada de carbono e no consumo de energia talvez seja pequeno;
- No cenário do zinco metálico há outras indústrias a serem consideradas.

REFERÊNCIAS

ABREU, Cleide Aparecida de; VAN RAIJ, Bernardo. **Efeito da reação do solo no zinco extraído pelas soluções de DTPA e MEHLICH.** Campinas: Fapesp, 1996. 7 p. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87051996000200022. Acesso em: 11 mar. 2020.

AIRES, Carolina de Barros. **Zinco, fator fundamental para aumento e melhora da produção agrícola:** A deficiência desse micronutriente pode reduzir em até 40% o rendimento de culturas. 2009. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/zinco--fator-fundamental-para-aumento-e-melhora-da-producao-agricola_94756.html>. Acesso em: 02 nov. 2019.

ALL Things SOIL TAXONOMY. Mountain View: Atlas Pro, 2018. (8 min.), son., color. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=BArbrfmsxeQ&feature=youtu.be. Acesso em: 11 mar. 2020.

ALLOWAY, Brian J. **Zinco no solo e nutrição das culturas.** São Paulo: Iza e Ifa, 2008. 256 p. Tradução de Sueli Monteiro.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM B240-17**: Standard Standard Specification for Zinc and Zinc-Aluminum (ZA) Alloy in Ingot for Foundry and Die Castings. 17

ANJOS, Bruno; OLIVEIRA; BRASIL. **Estudo das propriedades do zinco e suas aplicações na construção civil.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 22., 2016, Natal. **Proceedings.** Natal: CBECIMAT, 2016. p. 5747 - 5752. Disponível em: <http://www.metallum.com.br/22cbecimat/anais/PDF/304-248.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

ANSYS GRANTA. Granta Edupack. Versão 2019. [S.l.]: Ansys Granta, 2019.

ASHBY, Michael F. **Materials and Sustainable Development.** Cambridge: Elsevier Ltd, 2016. 311 p.

ASHBY, Mike et al. **Social Life-Cycle Assessment and Social Impact Audit Tool**: a white paper. Cambridge: Ansys Granta Design, 2019. 21 p.

AVELLANEDA, Carlos F.; CRUZ, Claudia M.; PALACIO, Carolina A. Acrodermatitis enteropática, un reto diagnóstico. Reporte de caso y revisión de la literatura. **Revista Med**, Bogotá, v. 17, n. 1, p.150-154, 30 jun. 2009. Semestral.

AVILA, Marcos Guilherme Correa. **Fluxograma Básico do Processo.** Três Marias, 2019. 8p.

CAETANO, Mário. **Processos de Obtenção do Óxido de Zinco.** Disponível em: <https://www.ctborracha.com/borracha-sintese-historica/materias-Primas/cargas/cargas-nao-negras/oxido-de-zinco/processos-de-obtencao-de-oxido-de-zinco/>. Acesso em: 01 dez. 2019.

COMITÊ ORGANIZADOR DOS JOGOS OLÍMPICOS E PARALÍMPICOS RIO 2016 (Rio de Janeiro) (org.). **Relatório de Gestão da Pegada de Carbono dos Jogos Rio 2016**. 2014. Disponível em: https://pt.slideshare.net/isustentavel/relatrio-de-gesto-da-pegada-de-carbono-dos-jogos-rio-2016?from_action=save. Acesso em: 02 dez. 2019.

CONSELHO EMPRESARIAL BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (CEBDS) (org.). **Governo do Paraná cria sistema para acelerar a adesão dos ODS no Estado**. 2019. Disponível em: https://cebds.org/governo-do-parana-cria-sistema-para-acelerar-a-adesao-dos-ods-no-estado/#.Xt1yMW5FzIW. Acesso em: 01 abr. 2020.

ECYCLE. **O que é pegada de carbono.** Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/3874-pegada-carbono.html>. Acesso em: 02 dez. 2019.

ERNANI, P. R. et al. **Influência de Adições Sucessivas de Zinco, na Forma de Esterco Suíno ou de Óxido, no Rendimento de Matéria Seca de Milho.** Santa Catarina: Udesc, 2001. 8 p. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832001000400013. Acesso em: 11 mar. 2020.

EXPLICANDO - O futuro da carne. Produção de Christophe Haubursin. Realização de Vox. Intérpretes: Vincent Kartheiser. S.i: Netflix, 2019. (23 min.), P&B.

FILIPPE; LUCIO. **Reino Plantae.** Disponível em: <https://filippeluciobioifes.wordpress.com/2011/06/24/briofitas/>. Acesso em: 01 dez. 2019.

GALEMBECK, Fernando; CSORDAS, Yara. **Cosméticos: a química da beleza.** Disponível em: <http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_cosmeticos.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2019.

GRANTA DESIGN (org.). **About the Eco Audit Tool**. Disponível em: http://support.grantadesign.com/resources/cesedupack/2019/help/topic1.htm#t=html%2Feco%2Feco_about.htm. Acesso em: 15 abr. 2020.

FLORES, Ana. **O que são vidrados.** Disponível em: <http://www.ufrgs.br/lacad/revestvidrado.html>. Acesso em: 30 nov. 2019.

GAUCHAZH (org.). **Conheça os benefícios do zinco para a saúde: deficiência do mineral pode acarretar distúrbios de atenção, maior suscetibilidade às infecções virais e outros problemas. Deficiência do mineral pode acarretar distúrbios de atenção, maior suscetibilidade às infecções virais e outros problemas.** 2011. Disponível em: https://gauchazh.clicrbs.com.br/comportamento/noticia/2011/03/conheca-os-beneficios-do-zinco-para-a-saude-3247200.html. Acesso em: 01 abr. 2020.

GRANTA DESIGN (org.). **End of life calculations**. Disponível em: http://support.grantadesign.com/resources/cesedupack/2019/help/html/eco/ecodata_endoflife.htm. Acesso em: 15 mar. 2020.

GUJEL, Angela Artini. **Obtenção e Caracterização de Artefatos Elastoméricos Contendo Aditivos Provenientes de Fontes Renováveis.** 2012. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2012.

HARARI, Yuval Noah. **21 lições para o século 21.** São Paulo: Companhia das Letras, 2018. 441 p. Tradução de Paulo Geiger.

HOW TO SURVIVE THE 21ST CENTURY | DAVOS 2020. **Davos: World Economic Forum,** 2020. (50 min.), son., colour. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=eOsKFOrW5h8>. Acesso em: 07 fev. 2020

IBRAM, Informações e Análises da Economia Mineral Brasileira -. **Zinco.** Disponível em: <http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00002797.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

ICZ, Instituto de Metais Não Ferrosos -. **Características Técnicas do Zinco.** 2019. Disponível em: <http://www.icz.org.br/zinco-caracteristicas-tecnicas.php>. Acesso em: 20 nov. 2019.

INSTITUTO UNIDOS PELA VIDA. **O que é Genética, Hereditária, Autossômica e Recessiva?** 2010. Disponível em: https://unidospelavida.org.br/o-que-e-genetica-hereditaria-autossomica-e-recessiva/. Acesso em: 01 abr. 2020.

JANK, Marcos Sawaya; NASSAR, André Meloni; TACHINARDI, Maria Helena. Dossiê do Brasil Rural. **Revista USP**, São Paulo, v. 64, p.14-27, 2005. Trimestral.

MANARINI, Thaís. **8 razões para consumir zinco: seus benefícios despertam cada vez mais o interesse dos cientistas. conheça os principais poderes do mineral para valorizá-lo também. Seus benefícios despertam cada vez mais o interesse dos cientistas. Conheça os principais poderes do mineral para valorizá-lo também.** 2014. Disponível em: https://saude.abril.com.br/bem-estar/8-razoes-para-consumir-zinco/. Acesso em: 01 abr. 2020.

MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Plano Agrícola e Pecuário 2017/2018.** Brasília: Biblioteca Nacional de Agricultura – Binagri, 2017. 48 p.

MARQUES FILHO, Luiz César. **Capitalismo e Colapso Ambiental.** Campinas: Unicamp, 2018. 735 p.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA (org.). **Síntese - Setor Ferroviário**. Disponível em: https://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article.html?id=5380. Acesso em: 27 mai. 2020.

MOURA, Ana Paula. **Deficiência de zinco: quais são os riscos para a saúde das pessoas?** 2019. Disponível em: https://cuidadospelavida.com.br/saude-e-tratamento/baixa-imunidade/deficiencia-zinco-riscos. Acesso em: 01 abr. 2020.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do et al. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais.** Fortaleza: Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 P. Disponível em: http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014_liv_rfdnascimento.pdf. Acesso em: 11 mar. 2020.

NEXA. **Especificação de Produto – Nexa Recursos Minerais S.A.** Referência interna: PE-DMT-QPJ-198-PT. s.l.: s.ed. s.d.a

NEXA. **Especificação de Produto – Nexa Recursos Minerais S.A.** Referência interna: PE-DMT-QPJ-122-PT. s.l.: s.ed. s.d.b

OECD/FAO, OECD-FAO **Agricultural Outlook 2019-2028**, OECD Publishing, Paris/Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2019-en>. Acesso em 23 out. 2019.

ONU. **Momento de ação global para as pessoas e o planeta.** Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>. Acesso em: 29 mar. 2020.

PERAFÁN-RIVEROS, Claudia et al. Acrodermatitis Enteropathica: Case Report and Review of the Literature. **Pediatric Dermatology**, São Paulo, v. 19, n. 5, p.426-431, 2002.

PIKETTY, Thomas. **O Capital no século XXI.** Rio de Janeiro: Intrínseca, 2014. 667 p. Tradução de Monica Baumgarten de Bolle.

PRADO, Thiago. **Importância da Suplementação de Zinco em Bovinos de Corte Criados a Pasto.** Uberaba: Faculdades Associadas de Uberaba, 2012. Disponível em: < http://www.fazu.br/ojs/index.php/posfazu/article/viewFile/447/339>. Acesso em: 30 nov. 2019.

RECYCLING Plastic Bottles in Germany. Germany: Cheap Chirping, 2019. (3 min.), son., color. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=coBvrjDg7VA. Acesso em: 25 abr. 2020.

REVISTA CIENTÍFICA ELETRÔNICA DE MEDICINA VETERINÁRIA. Garça - São Paulo: Editora Faef, v. 19, jul. 2012. Semestral. Disponível em: <http://faef.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/2OPWO6AlLTgjCrp_2013-6-24-15-3-44.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2019.

Secretaria Executiva (org.). **Acompanhamento das Realizações do Ministério da Infraestrutura**. 2020. Disponível em: https://infraestrutura.gov.br/images/2020/documentos/02/Periodico-Minfra-Miolo.pdf. Acesso em: 27 mai. 2020.

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática (org.). **Contas Nacionais Trimestrais**. 2020. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1846. Acesso em: 20 out. 2020.

SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática (org.). **Produto Interno Bruto dos Municípios**. 2020. Disponível em: https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938. Acesso em: 20 out. 2020.

SILLANPÄÄ, M. Micronutrients and the Nutrient Status os Soils: a global study, **FAO Soils Bulletin** No. 48, FAO, 1982, Rome.

SILLANPÄÄ, M. Micronutrient Assessment at Country Level: an internacional study. **FAO Soils Bulletin** No. 63, FAO, 1990, Rome.

SYMBIA BUSINESS MARKETING, **Onde tem Zinco.** São Paulo: Symbia Business Marketing (Coord. Ed.), 2019. 32p.

TAVARES, Maria Flávia de Figueiredo; HABERLI JUNIOR, Caetano. **O mercado de fertilizantes no Brasil e as influências mundiais.** 2018. Disponível em: <http://www.bh1.com.br/agronegocio/o-mercado-de-fertilizantes-no-brasil-e-as-influencias-mundiais/>. Acesso em: 02 nov. 2019.

UFRGS. **Proteção Catódica.** Rio Grande do Sul: s.ed. s.d. Disponível em <http://www.ufrgs.br/lapec/wa_files/prote_c3_a7_c3_a3o_20cat_c3_b3d.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE USDA. **Global Soil Regions**. Disponível em: https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_MEDIA/nrcs142p2_050722.jpg. Acesso em: 11 mar. 2020.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY, **Mineral commodity summaries 2020: U.S. Geological Survey**, 200 p., 2020, Disponível em: https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2020/mcs2020.pdf. https://doi.org/10.3133/ mcs2020. Acesso em 24 jun. 2020.

VAZQUEZ, A.D.; DUTRA, J.C. **Aplicação do conceito de eco-design em um projeto de sistema mecânico: caixa redutora de velocidade.** 2018. Iniciação científica (Engenharia Mecânica) - Centro Universitário da FEI. 349p.

VOTORANTIM METAIS. **Projeto Zinco no Agronegócio.** PwC - Pricewaterhouse Coopers. São Paulo: Votorantim Metais, 2010. 182p.

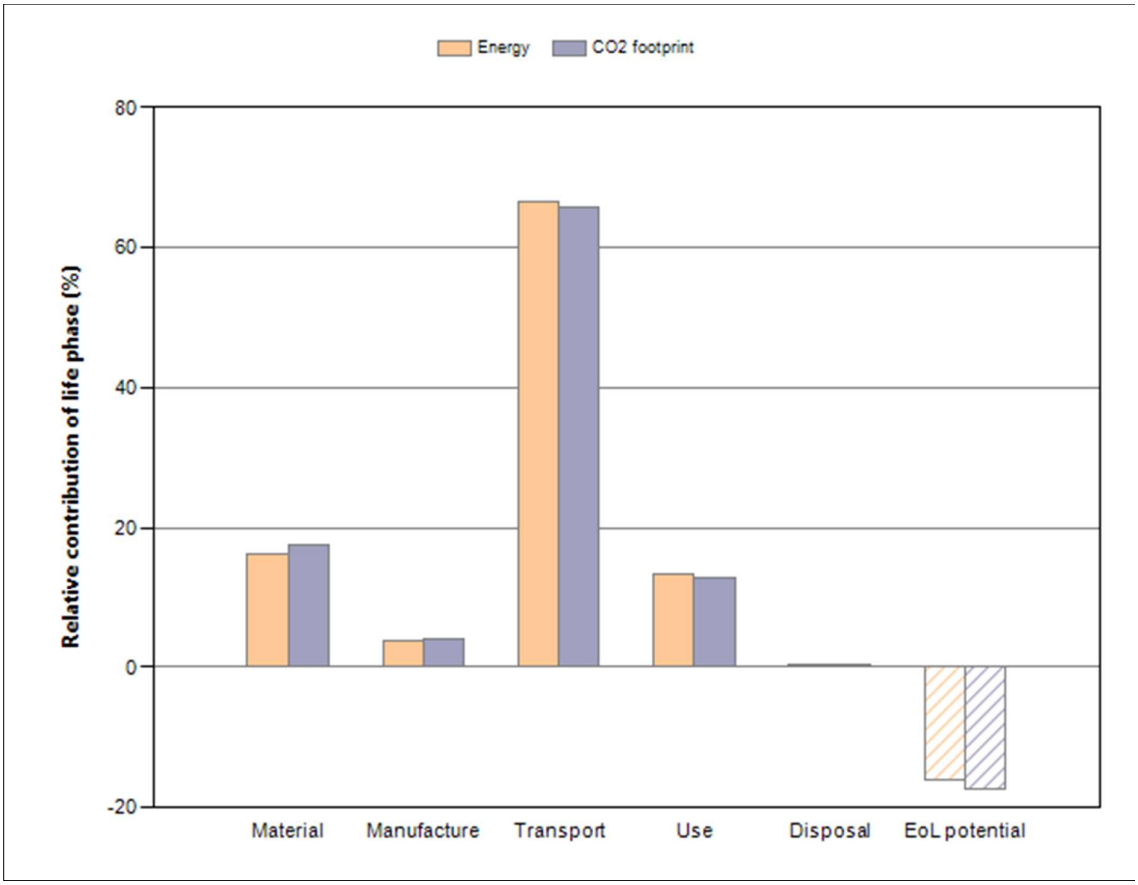
ZINC- Sources, RDA, Functions, Deficiency manifestations, Toxicity. Nova Delhi: Rajesh Jambhulkar, 2019. Son., color. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=yatEkcsnIfw&feature=youtu.be. Acesso em: 01 abr. 2020.

APÊNDICE A – BATERIA 1 50/50

Eco Audit Report

Product name	Bateria 1 (50/50)
Country of use	Brazil
Product life (years)	3

Summary:



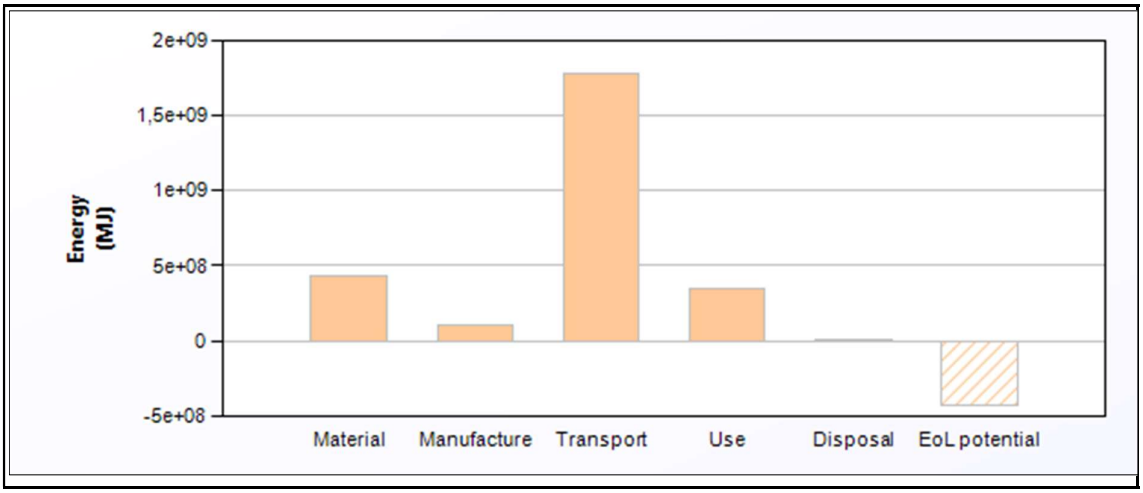
Energy details CO2 footprint details

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	4,3e+08	16,2	3,39e+07	17,4
Manufacture	1,02e+08	3,8	7,61e+06	3,9
Transport	1,77e+09	66,6	1,28e+08	65,7
Use	3,52e+08	13,3	2,5e+07	12,9
Disposal	3e+06	0,1	2,1e+05	0,1
Total (for first life)	**2,66e+09**	**100**	**1,94e+08**	**100**
End of life potential	-4,3e+08		-3,39e+07	

Eco Audit Report

Energy Analysis

Summary



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	8,86e+08

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Zinc, commercial purity, Prime western, min. 98%	100,0%	7,5e+06	1	7,5e+06	8,4e+07	19,5
zinco SHG	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	7,5e+06	1	7,5e+06	3,5e+08	80,5
Total				**2**	**1,5e+07**	**4,3e+08**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Casting	-	7,5e+06 kg	5,1e+07	50,2
zinco SHG	Casting	-	7,5e+06 kg	5,1e+07	49,8
Total				**1e+08**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,8e+09	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,8e+09**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
borra de zinco	7,5e+06	8,9e+08	50,0
zinco SHG	7,5e+06	8,9e+08	50,0
Total	**1,5e+07**	**1,8e+09**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,7e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	3,5e+08	100,0
Mobile	0	
Total	**3,5e+08**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	1,5e+06	50,0
zinco SHG	Reuse	100,0	1,5e+06	50,0
Total			**3e+06**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	-8,4e+07	19,5
zinco SHG	Reuse	100,0	-3,5e+08	80,5
Total			**-4,3e+08**	**100**

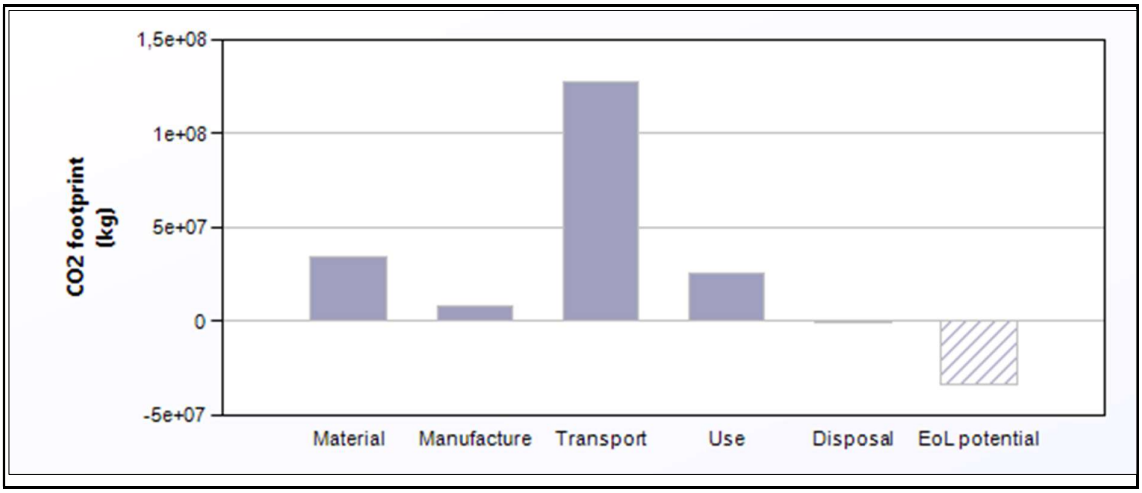
Notes:

Summary

Eco Audit Report

CO2 Footprint Analysis

Summary



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	6,47e+07

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Zinc, commercial purity, Prime western, min. 98%	100,0%	7,5e+06	1	7,5e+06	6,6e+06	19,5
zinco SHG	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	7,5e+06	1	7,5e+06	2,7e+07	80,5
Total				**2**	**1,5e+07**	**3,4e+07**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Casting	-	7,5e+06 kg	3,8e+06	50,2
zinco SHG	Casting	-	7,5e+06 kg	3,8e+06	49,8
Total				**7,6e+06**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,3e+08	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,3e+08**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	7,5e+06	6,4e+07	50,0
zinco SHG	7,5e+06	6,4e+07	50,0
Total	**1,5e+07**	**1,3e+08**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,7e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	2,5e+07	100,0
Mobile	0	
Total	**2,5e+07**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	1,1e+05	50,0
zinco SHG	Reuse	100,0	1,1e+05	50,0
Total			**2,1e+05**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	-6,6e+06	19,5
zinco SHG	Reuse	100,0	-2,7e+07	80,5
Total			**-3,4e+07**	**100**

Notes:

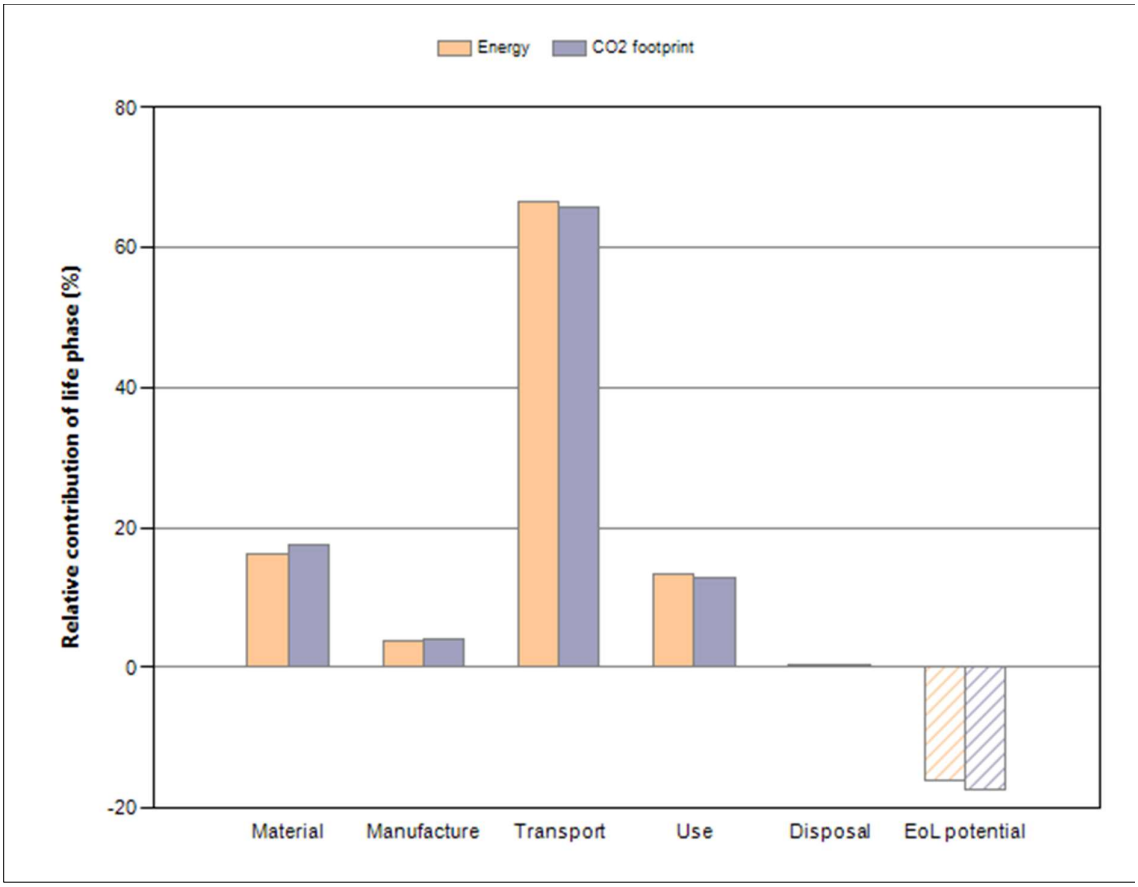
Summary

APÊNDICE B – BATERIA 3 50/50

Eco Audit Report

Product name	Bateria 3 (50/50)
Country of use	Brazil
Product life (years)	3

Summary:



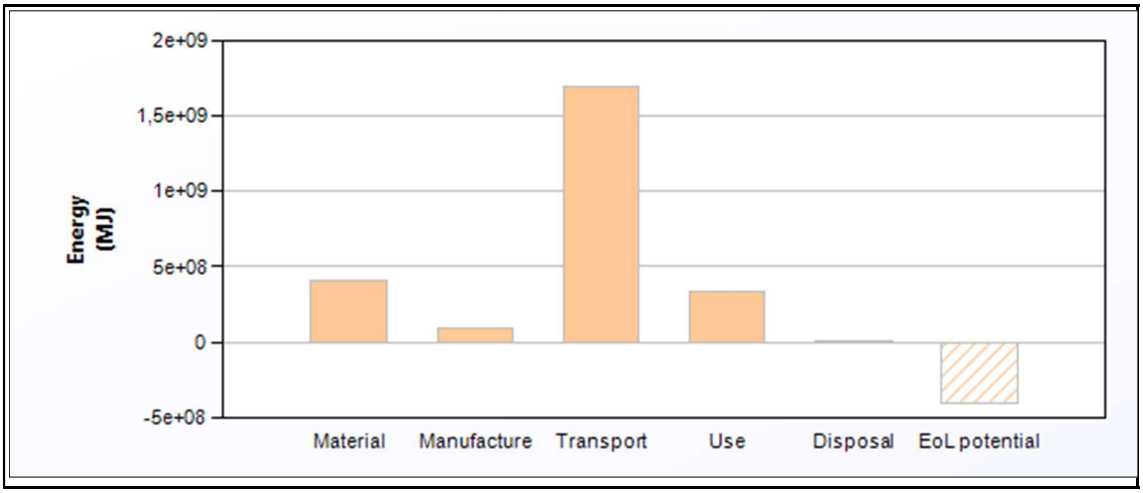
Energy details CO2 footprint details

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	4,11e+08	16,2	3,23e+07	17,4
Manufacture	9,69e+07	3,8	7,27e+06	3,9
Transport	1,69e+09	66,6	1,22e+08	65,7
Use	3,36e+08	13,3	2,39e+07	12,9
Disposal	2,86e+06	0,1	2e+05	0,1
Total (for first life)	**2,54e+09**	**100**	**1,85e+08**	**100**
End of life potential	-4,11e+08		-3,23e+07	

Eco Audit Report

Energy Analysis

Summary



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	8,46e+08

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Zinc, commercial purity, Prime western, min. 98%	100,0%	7,2e+06	1	7,2e+06	8e+07	19,5
zinco SHG	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	7,2e+06	1	7,2e+06	3,3e+08	80,5
Total				**2**	**1,4e+07**	**4,1e+08**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Casting	-	7,2e+06 kg	4,9e+07	50,2
zinco SHG	Casting	-	7,2e+06 kg	4,8e+07	49,8
Total				**9,7e+07**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,7e+09	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,7e+09**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
borra de zinco	7,2e+06	8,5e+08	50,0
zinco SHG	7,2e+06	8,5e+08	50,0
Total	**1,4e+07**	**1,7e+09**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,6e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	3,4e+08	100,0
Mobile	0	
Total	**3,4e+08**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	1,4e+06	50,0
zinco SHG	Reuse	100,0	1,4e+06	50,0
Total			**2,9e+06**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	-8e+07	19,5
zinco SHG	Reuse	100,0	-3,3e+08	80,5
Total			**-4,1e+08**	**100**

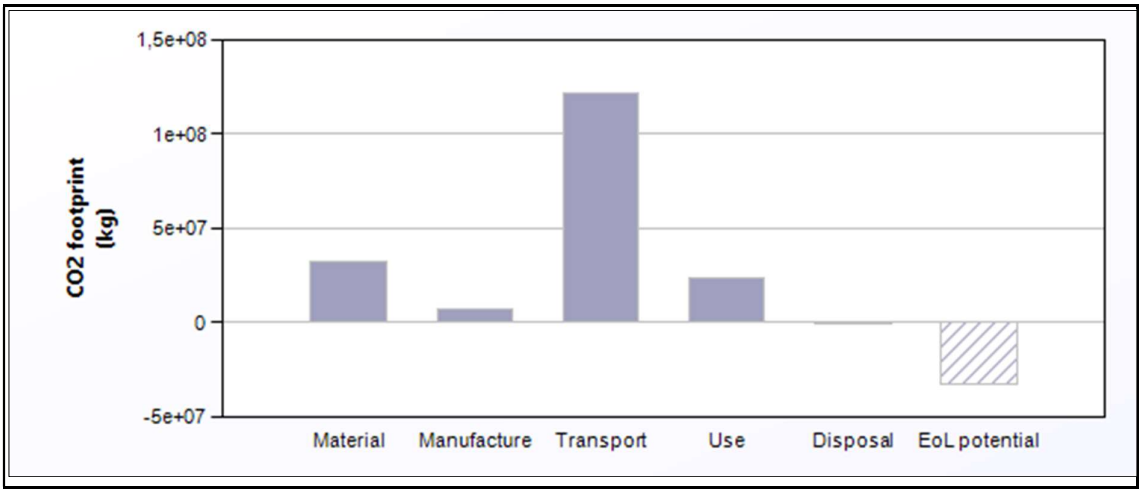
Notes:

Summary

Eco Audit Report

CO2 Footprint Analysis

Summary



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	6,18e+07

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Zinc, commercial purity, Prime western, min. 98%	100,0%	7,2e+06	1	7,2e+06	6,3e+06	19,5
zinco SHG	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	7,2e+06	1	7,2e+06	2,6e+07	80,5
Total				**2**	**1,4e+07**	**3,2e+07**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Casting	-	7,2e+06 kg	3,6e+06	50,2
zinco SHG	Casting	-	7,2e+06 kg	3,6e+06	49,8
Total				**7,3e+06**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,2e+08	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,2e+08**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	7,2e+06	6,1e+07	50,0
zinco SHG	7,2e+06	6,1e+07	50,0
Total	**1,4e+07**	**1,2e+08**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,6e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	2,4e+07	100,0
Mobile	0	
Total	**2,4e+07**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	1e+05	50,0
zinco SHG	Reuse	100,0	1e+05	50,0
Total			**2e+05**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	-6,3e+06	19,5
zinco SHG	Reuse	100,0	-2,6e+07	80,5
Total			**-3,2e+07**	**100**

Notes:

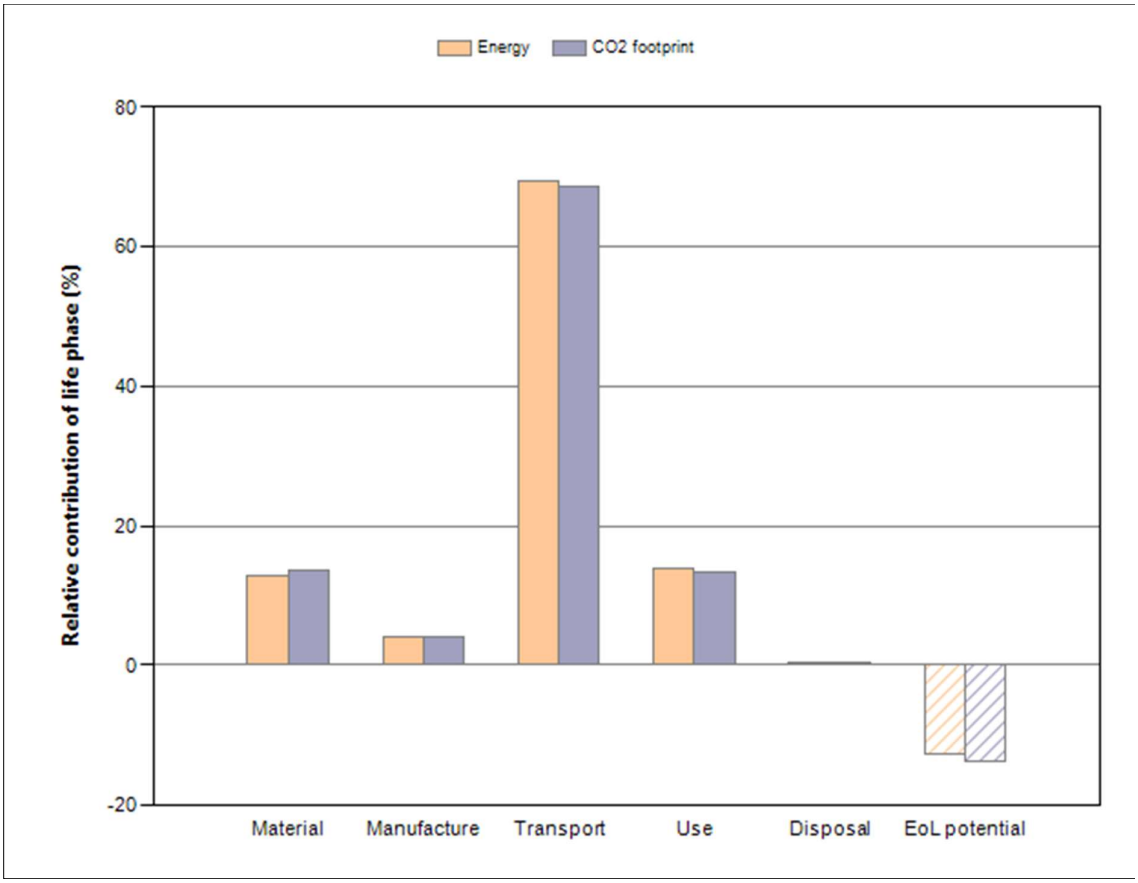
Summary

APÊNDICE C – BATERIA 1 70/30

Eco Audit Report

Product name	Bateria 1 (70/30)
Country of use	Brazil
Product life (years)	3

Summary:



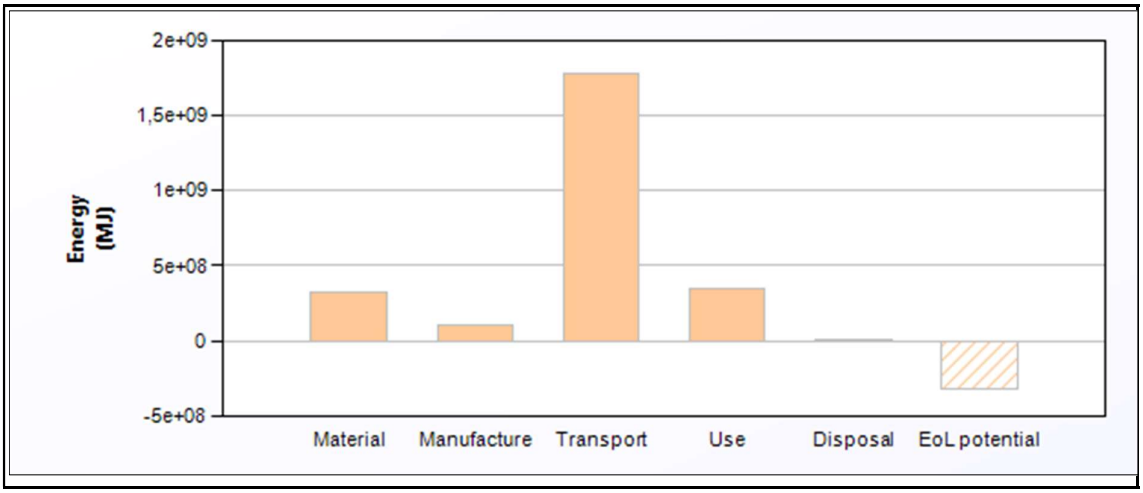
Energy details CO2 footprint details

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	3,25e+08	12,7	2,56e+07	13,8
Manufacture	1,02e+08	4,0	7,62e+06	4,1
Transport	1,77e+09	69,4	1,28e+08	68,6
Use	3,52e+08	13,8	2,5e+07	13,4
Disposal	3e+06	0,1	2,1e+05	0,1
Total (for first life)	**2,55e+09**	**100**	**1,86e+08**	**100**
End of life potential	-3,25e+08		-2,56e+07	

Eco Audit Report

Energy Analysis

Summary



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	8,51e+08

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Zinc, commercial purity, Prime western, min. 98%	100,0%	1,1e+07	1	1,1e+07	1,2e+08	36,1
zinco SHG	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	4,5e+06	1	4,5e+06	2,1e+08	63,9
Total				**2**	**1,5e+07**	**3,3e+08**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Casting	-	1,1e+07 kg	7,1e+07	70,1
zinco SHG	Casting	-	4,5e+06 kg	3e+07	29,9
Total				**1e+08**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,8e+09	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,8e+09**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
borra de zinco	1,1e+07	1,2e+09	70,0
zinco SHG	4,5e+06	5,3e+08	30,0
Total	**1,5e+07**	**1,8e+09**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,7e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	3,5e+08	100,0
Mobile	0	
Total	**3,5e+08**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	2,1e+06	70,0
zinco SHG	Reuse	100,0	9e+05	30,0
Total			**3e+06**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	-1,2e+08	36,1
zinco SHG	Reuse	100,0	-2,1e+08	63,9
Total			**-3,3e+08**	**100**

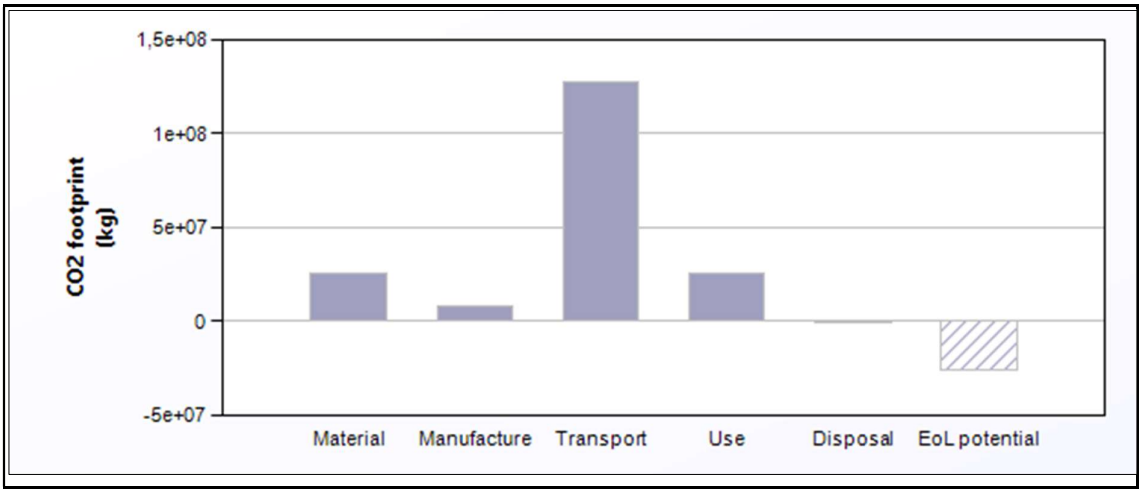
Notes:

Summary

Eco Audit Report

CO2 Footprint Analysis

Summary



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	6,2e+07

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Zinc, commercial purity, Prime western, min. 98%	100,0%	1,1e+07	1	1,1e+07	9,2e+06	36,0
zinco SHG	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	4,5e+06	1	4,5e+06	1,6e+07	64,0
Total				**2**	**1,5e+07**	**2,6e+07**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Casting	-	1,1e+07 kg	5,3e+06	70,1
zinco SHG	Casting	-	4,5e+06 kg	2,3e+06	29,9
Total				**7,6e+06**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,3e+08	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,3e+08**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	1,1e+07	8,9e+07	70,0
zinco SHG	4,5e+06	3,8e+07	30,0
Total	**1,5e+07**	**1,3e+08**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,7e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	2,5e+07	100,0
Mobile	0	
Total	**2,5e+07**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	1,5e+05	70,0
zinco SHG	Reuse	100,0	6,3e+04	30,0
Total			**2,1e+05**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	-9,2e+06	36,0
zinco SHG	Reuse	100,0	-1,6e+07	64,0
Total			**-2,6e+07**	**100**

Notes:

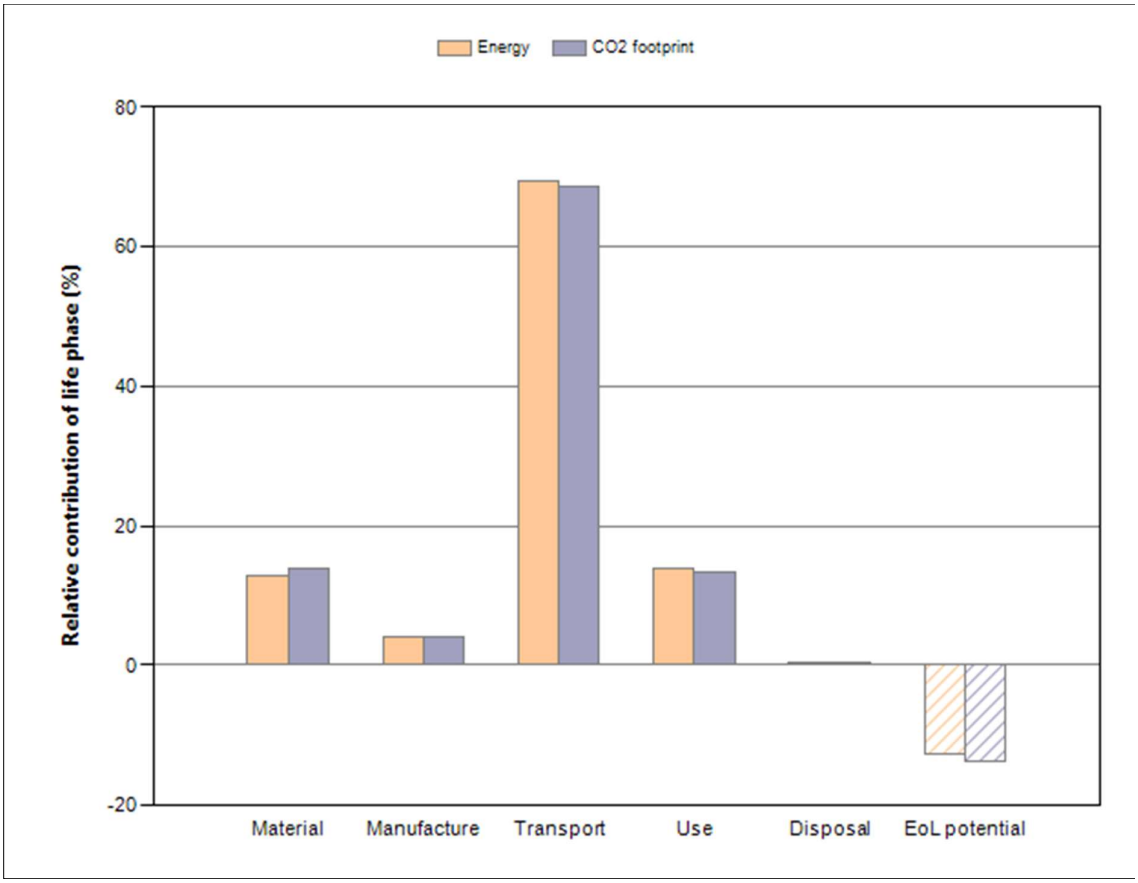
Summary

APÊNDICE D – BATERIA 3 70/30

Eco Audit Report

Product name	Bateria 3 (70/30)
Country of use	Brazil
Product life (years)	3

Summary:



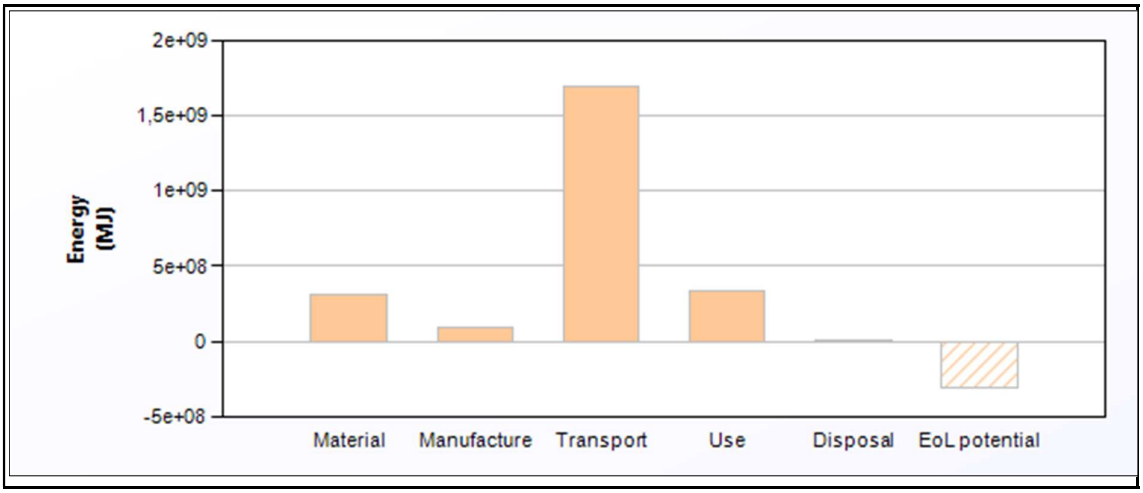
Energy details CO2 footprint details

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	3,1e+08	12,7	2,44e+07	13,8
Manufacture	9,69e+07	4,0	7,27e+06	4,1
Transport	1,69e+09	69,3	1,22e+08	68,6
Use	3,36e+08	13,8	2,39e+07	13,5
Disposal	2,86e+06	0,1	2e+05	0,1
Total (for first life)	**2,43e+09**	**100**	**1,77e+08**	**100**
End of life potential	-3,1e+08		-2,44e+07	

Eco Audit Report

Energy Analysis

Summary



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	8,12e+08

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Zinc, commercial purity, Prime western, min. 98%	100,0%	1e+07	1	1e+07	1,1e+08	36,0
zinco SHG	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	4,3e+06	1	4,3e+06	2e+08	64,0
Total				**2**	**1,4e+07**	**3,1e+08**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Casting	-	1e+07 kg	6,8e+07	70,1
zinco SHG	Casting	-	4,3e+06 kg	2,9e+07	29,9
Total				**9,7e+07**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,7e+09	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,7e+09**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
borra de zinco	1e+07	1,2e+09	69,9
zinco SHG	4,3e+06	5,1e+08	30,1
Total	**1,4e+07**	**1,7e+09**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,6e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	3,4e+08	100,0
Mobile	0	
Total	**3,4e+08**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	2e+06	69,9
zinco SHG	Reuse	100,0	8,6e+05	30,1
Total			**2,9e+06**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	-1,1e+08	36,0
zinco SHG	Reuse	100,0	-2e+08	64,0
Total			**-3,1e+08**	**100**

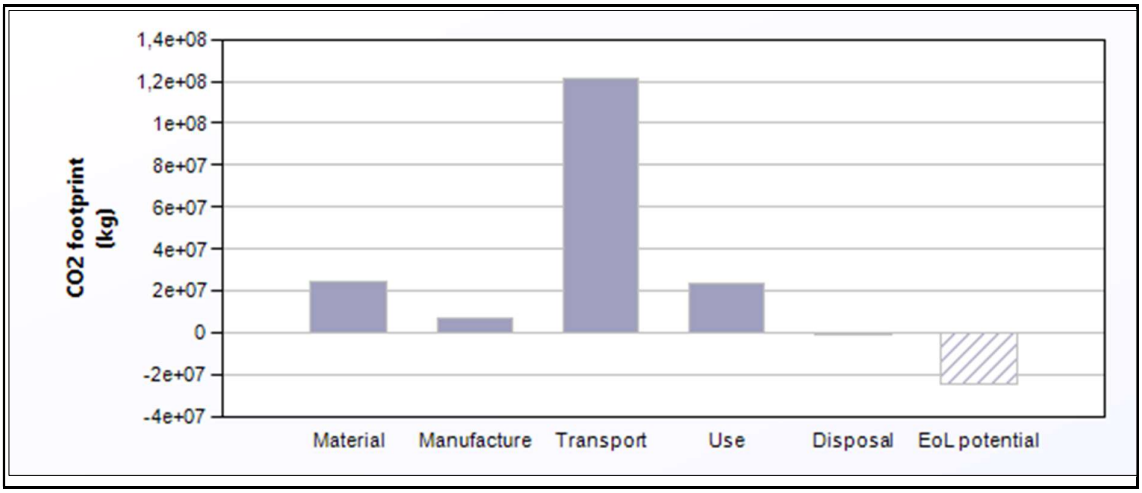
Notes:

Summary

Eco Audit Report

CO2 Footprint Analysis

Summary



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	5,91e+07

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Zinc, commercial purity, Prime western, min. 98%	100,0%	1e+07	1	1e+07	8,8e+06	36,0
zinco SHG	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	4,3e+06	1	4,3e+06	1,6e+07	64,0
Total				**2**	**1,4e+07**	**2,4e+07**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Casting	-	1e+07 kg	5,1e+06	70,1
zinco SHG	Casting	-	4,3e+06 kg	2,2e+06	29,9
Total				**7,3e+06**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,2e+08	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,2e+08**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	1e+07	8,5e+07	69,9
zinco SHG	4,3e+06	3,7e+07	30,1
Total	**1,4e+07**	**1,2e+08**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,6e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	2,4e+07	100,0
Mobile	0	
Total	**2,4e+07**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	1,4e+05	69,9
zinco SHG	Reuse	100,0	6e+04	30,1
Total			**2e+05**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	-8,8e+06	36,0
zinco SHG	Reuse	100,0	-1,6e+07	64,0
Total			**-2,4e+07**	**100**

Notes:

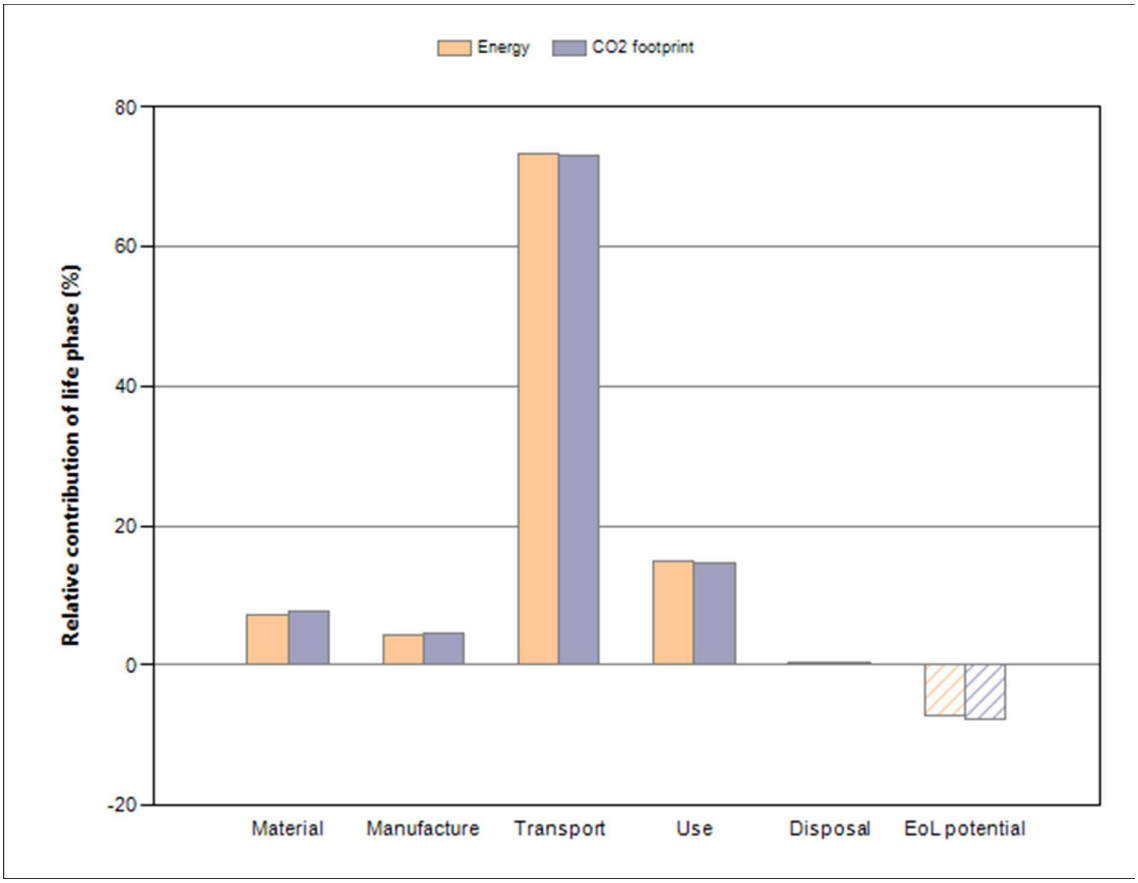
Summary

APÊNDICE E – BATERIA 1 100

Eco Audit Report

Product name	Bateria 1 (100)
Country of use	Brazil
Product life (years)	3

Summary:



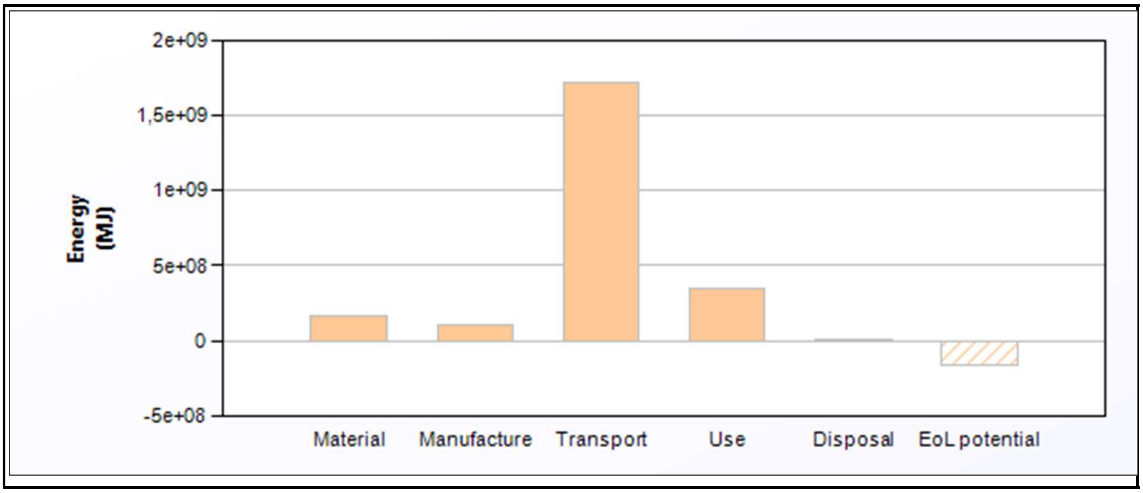
Energy details CO2 footprint details

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	1,68e+08	7,1	1,32e+07	7,7
Manufacture	1,02e+08	4,3	7,64e+06	4,5
Transport	1,72e+09	73,4	1,24e+08	72,9
Use	3,52e+08	15,0	2,5e+07	14,7
Disposal	3e+06	0,1	2,1e+05	0,1
Total (for first life)	**2,35e+09**	**100**	**1,7e+08**	**100**
End of life potential	-1,68e+08		-1,32e+07	

Eco Audit Report

Energy Analysis

Summary



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	7,82e+08

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Zinc, commercial purity, Prime western, min. 98%	100,0%	1,5e+07	1	1,5e+07	1,7e+08	100,0
Total				**1**	**1,5e+07**	**1,7e+08**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Casting	-	1,5e+07 kg	1e+08	100,0
Total				**1e+08**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,7e+09	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,7e+09**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
borra de zinco	1,5e+07	1,7e+09	100,0
Total	**1,5e+07**	**1,7e+09**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,7e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	3,5e+08	100,0
Mobile	0	
Total	**3,5e+08**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	3e+06	100,0
Total			**3e+06**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	-1,7e+08	100,0
Total			**-1,7e+08**	**100**

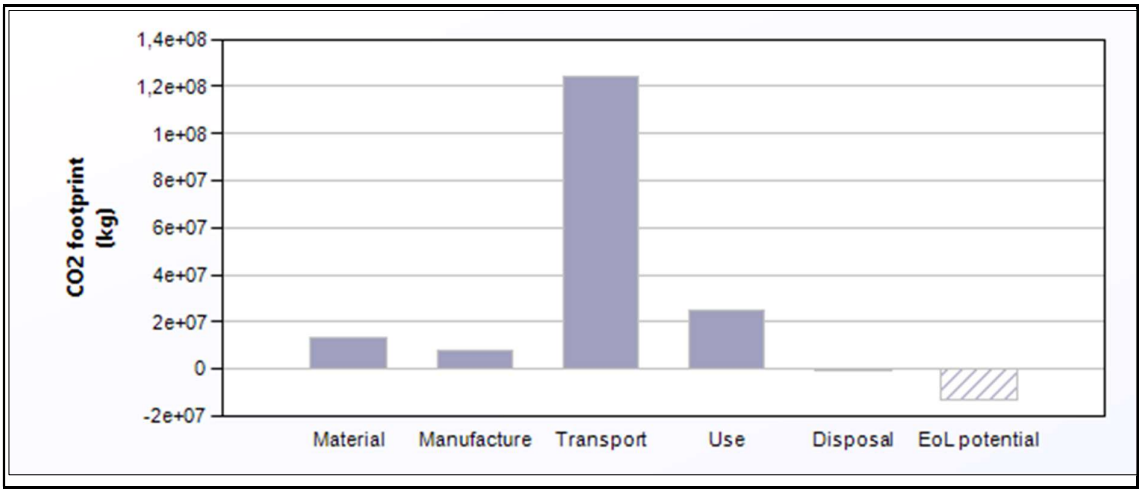
Notes:

Summary

Eco Audit Report

CO2 Footprint Analysis

Summary



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	5,67e+07

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Zinc, commercial purity, Prime western, min. 98%	100,0%	1,5e+07	1	1,5e+07	1,3e+07	100,0
Total				**1**	**1,5e+07**	**1,3e+07**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Casting	-	1,5e+07 kg	7,6e+06	100,0
Total				**7,6e+06**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,2e+08	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,2e+08**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	1,5e+07	1,2e+08	100,0
Total	**1,5e+07**	**1,2e+08**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,7e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	2,5e+07	100,0
Mobile	0	
Total	**2,5e+07**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	2,1e+05	100,0
Total			**2,1e+05**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
borra de zinco	Reuse	100,0	-1,3e+07	100,0
Total			**-1,3e+07**	**100**

Notes:

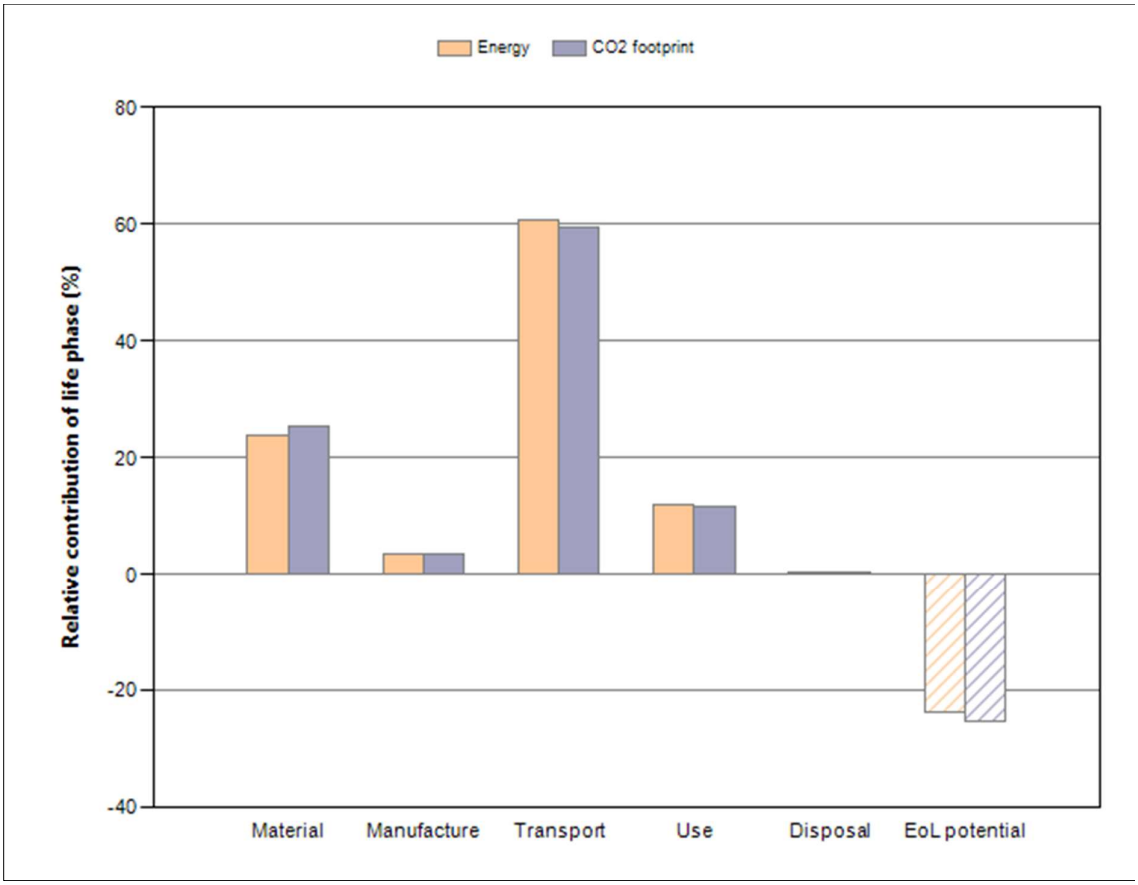
Summary

APÊNDICE F – BATERIA 4 SHG

Eco Audit Report

Product name	Bateria 4 (SHG)
Country of use	Brazil
Product life (years)	3

Summary:



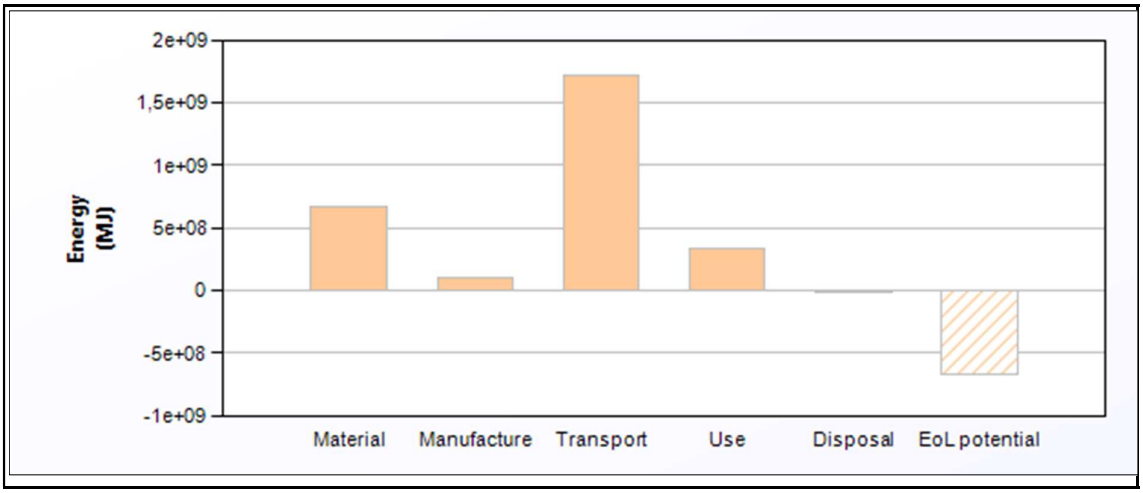
Energy details CO2 footprint details

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
Material	6,7e+08	23,7	5,27e+07	25,4
Manufacture	9,78e+07	3,5	7,33e+06	3,5
Transport	1,71e+09	60,7	1,23e+08	59,4
Use	3,39e+08	12,0	2,41e+07	11,6
Disposal	2,9e+06	0,1	2,03e+05	0,1
Total (for first life)	**2,82e+09**	**100**	**2,08e+08**	**100**
End of life potential	-6,7e+08		-5,27e+07	

Eco Audit Report

Energy Analysis

Summary



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	9,41e+08

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	Energy (MJ)	%
zinco SHG	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	1,5e+07	1	1,5e+07	6,7e+08	100,0
Total				**1**	**1,5e+07**	**6,7e+08**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	Energy (MJ)	%
zinco SHG	Casting	-	1,5e+07 kg	9,8e+07	100,0
Total				**9,8e+07**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,7e+09	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,7e+09**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
zinco SHG	1,5e+07	1,7e+09	100,0
Total	**1,5e+07**	**1,7e+09**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,6e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	Energy (MJ)	%
Static	3,4e+08	100,0
Mobile	0	
Total	**3,4e+08**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
zinco SHG	Reuse	100,0	2,9e+06	100,0
Total			**2,9e+06**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	Energy (MJ)	%
zinco SHG	Reuse	100,0	-6,7e+08	100,0
Total			**-6,7e+08**	**100**

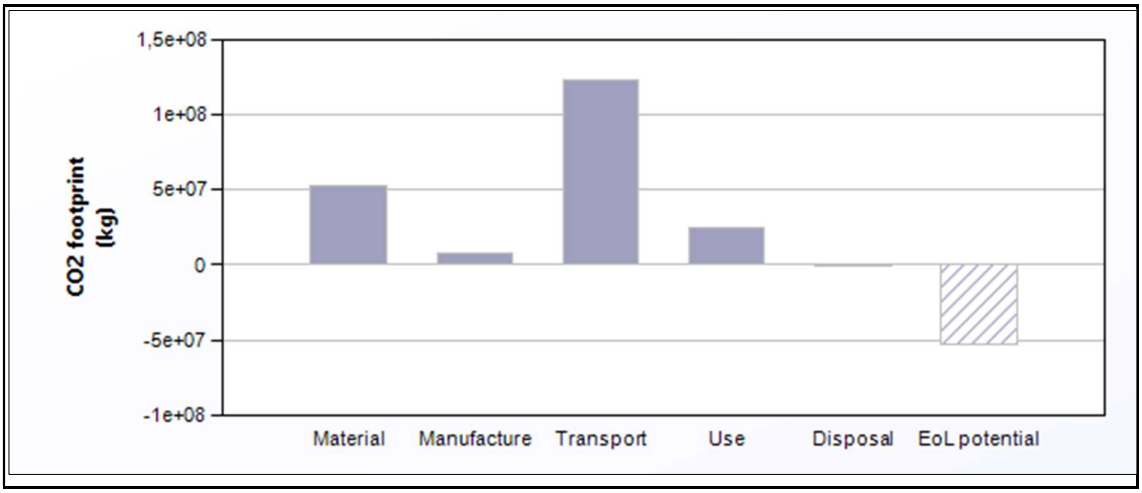
Notes:

Summary

Eco Audit Report

CO2 Footprint Analysis

Summary



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 3 year product life):	6,92e+07

Detailed breakdown of individual life phases

Material:

Summary

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass processed** (kg)	CO2 footprint (kg)	%
zinco SHG	Zinc, commercial purity, High grade, min. 99.9%	Virgin (0%)	1,5e+07	1	1,5e+07	5,3e+07	100,0
Total				**1**	**1,5e+07**	**5,3e+07**	**100**

*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

**Where applicable, includes material mass removed by secondary processes

Manufacture:

Summary

Component	Process	% Removed	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
zinco SHG	Casting	-	1,5e+07 kg	7,3e+06	100,0
Total				**7,3e+06**	**100**

Transport:

Summary

Breakdown by transport stage

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
caminhão	40 tonne (6 axle) truck	1,4e+05	1,2e+08	100,0
Total		**1,4e+05**	**1,2e+08**	**100**

Breakdown by components

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
zinco SHG	1,5e+07	1,2e+08	100,0
Total	**1,5e+07**	**1,2e+08**	**100**

Use:

Summary

Static mode

Energy input and output type	Fossil fuel to thermal, enclosed system
Country of use	Brazil
Power rating (kW)	3,6e+03
Usage (hours per day)	24
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	3

Relative contribution of static and mobile modes

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	2,4e+07	100,0
Mobile	0	
Total	**2,4e+07**	**100**

Disposal:

Summary

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
zinco SHG	Reuse	100,0	2e+05	100,0
Total			**2e+05**	**100**

EoL potential:

Component	End of life option	% recovered	CO2 footprint (kg)	%
zinco SHG	Reuse	100,0	-5,3e+07	100,0
Total			**-5,3e+07**	**100**

Notes:

Summary