

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Fátima Pereira Pinto

**Estimativa da Pegada de Carbono do brinquedo gangorra-labirinto:
implementação de metodologia considerando o ciclo de vida do
produto**

São Paulo

2010

Fátima Pereira Pinto

Estimativa da Pegada de Carbono do brinquedo gangorra-labirinto: implementação de metodologia considerando o ciclo de vida do produto.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Data da aprovação ____/____/____

Prof. Dr. Marco Antonio Paiva (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo

Membros da Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marco Antonio Paiva (Orientador)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Prof. Dr. Roberto de Aguiar Peixoto (Membro)
Instituto Mauá de Tecnologia

Prof. Dr. Mauro Silva Ruiz (Membro)
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo

Fátima Pereira Pinto

Estimativa da Pegada de Carbono do brinquedo gangorra-labirinto:
implementação de metodologia considerando o ciclo de vida do produto

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Pesquisas Tecnológicas do
Estado de São Paulo - IPT, como parte dos
requisitos para a obtenção do título de Mestre
em Tecnologia Ambiental.

Área de Concentração: Gestão Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Paiva

São Paulo
Março/2010

Ficha Catalográfica

Elaborada pelo Departamento de Acervo e Informação Tecnológica – DAIT
do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

P659E

Pinto, Fátima Pereira

Estimativa da pegada de carbono do brinquedo gangorra-labirinto: implementação de metodologia considerando o ciclo de vida do produto. / Fátima Pereira Pinto. São Paulo, 2010.

98 p.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de concentração: Gestão Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Soares de Paiva

1. Pegada de carbono 2. Ciclo de vida do produto 3. Brinquedo 4. Emissão de CO2
5. Gás de efeito estufa - GEE 6. Proteção do meio ambiente 7. Tese I. Instituto de
Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Coordenadoria de Ensino
Tecnológico II. Título

11-27

CDU 614.72(043)

Dedico este trabalho aos meus pais, Olga e Vicente (*in memoriam*), pelo exemplo de vida, amor e dedicação aos filhos.

Agradecimentos

Agradeço ao meu orientador, Marco Antonio Paiva, pela sua contribuição neste trabalho, e a colaboração e compreensão nos momentos difíceis de realização desta dissertação.

Agradeço ao Prof. Dr. Mauro Silva Ruiz e Prof. Dr. Roberto de Aguiar Peixoto, pelas contribuições, que foram muito úteis para a complementação deste trabalho.

Agradeço imensamente aos empresários Giovani Inácio de Souza e à Alexandra Bacalu de Souza, proprietários da Alpha Brinquedos, pela valiosa contribuição em abrir as portas da sua fábrica, e fornecer todos os dados da produção do brinquedo gangorra-labirinto e os contatos da cadeia de fornecedores, tornando possível a realização deste trabalho.

Agradeço aos profissionais Danielle Ferrari, Márcio Figueiredo e Rogério Ortiz da ICO Polymers, ao Nivaldo Batista Leite, sócio-proprietário da Nilbatlei e à Juliana e Dioclécio Amaral da Coopercaixa que colaboraram com o fornecimento de dados das matérias-primas da gangorra labirinto.

Meus agradecimentos à amiga Dulcinéia Jacomini, pelo apoio e incentivo, que foram valiosos nos momentos decisivos da realização deste trabalho.

Eu não poderia deixar de agradecer aos colegas de mestrado os bons momentos que compartilhamos e os incentivos que recebi.

Agradeço a compreensão dos meus familiares, em especial minha mãe Olga, pelo pouco tempo para me dedicar a eles nestes últimos dois anos de trabalho nesta dissertação.

Agradeço aos meus amigos, pela compreensão neste período em que não pude cuidar melhor da nossa amizade.

RESUMO

Este trabalho trata da estimativa da pegada de carbono de um produto ao longo de seu ciclo de vida, com a aplicação da metodologia PAS 2050. Foi realizada uma análise de caso do brinquedo gangorra labirinto, onde as maiores dificuldades foram: encontrar um fabricante que disponibilizasse os dados para estudo, a coleta de dados junto à cadeia de fornecedores, e a falta de um banco de dados de emissões de gases de efeito estufa (GEE) de matérias-primas básicas produzidas no Brasil. A estimativa da pegada de carbono da Gangorra Labirinto, que pesa em torno de 1,8 kg, apresentou um resultado de 5,31 kg CO₂e/produto, onde 51% das emissões deveu-se ao ciclo da resina de polietileno que constitui cerca de 80% do produto. Este estudo, que atingiu seu objetivo ao fornecer resultados baseados em dados reais, pode contribuir junto a estudiosos do assunto, como um ponto de partida para aprimoramentos futuros de estimativa da pegada de carbono de produto ao longo do seu ciclo de vida.

Palavras-Chave: pegada de carbono, emissões de gases de efeito estufa, emissões de carbono, rotulagem de carbono.

ABSTRACT

Estimating Carbon Footprint of the toy called “gangorra-labirinto”: implementation methodology considering the life cycle of the product

This work refers to a product's estimated carbon footprint throughout its life cycle applying PAS 2050 methodology. Toy “Gangorra Labirinto” has been chosen as case study for the biggest difficulties were to find a manufacturer willing to present data for the study, data collection among productive chain' suppliers and the lack of a database on basic nationally produced raw-materials' greenhouse effect gases emissions. Estimated carbon footprint of Gangorra Labirinto, a product weighing around 1.8 kg, presented a result of 5.31kg of CO₂e/product, where 51% of emissions are due to the extraction and manufacture of polyethylene resin, which constitutes about 80% of the product. This case analysis has reached its objective presenting results relayed on real data and can contribute as a starting point for future improvements through new researches on product's carbon footprint estimation throughout its life cycle.

Key Words: carbon footprint, greenhouse gas emissions, carbon emissions, carbon labelling

Lista de Ilustrações

Equação 1 - Pegada de carbono de cada atividade.....	43
Figura 1- Fluxograma do processo utilizado no trabalho da estimativa da pegada de carbono do produto gangorra-labirinto	20
Figura 2 - Rótulo de carbono – Walkers.....	27
Figura 3 - Estrutura da avaliação do ciclo de vida (ACV) descritas nas Normas ISO 14040 e ISO 14044	32
Figura 4 - Exemplo de um conjunto de processos elementares dentro de um sistema de produto	33
Figura 5 - Esquema de referências normativas aplicáveis com a metodologia PAS 2050.....	39
Figura 6 - Etapas do mapa do processo (em detalhe) para produtos business-to-consumer	40
Figura 7 - Fotografia do uso da gangorra-labirinto	45
Figura 8 - Brinquedo Gangorra-labirinto.....	46
Figura 9 - Mapeamento do processo: ciclo de vida da gangorra-labirinto	47
Figura 10 - Mapa do processo com identificação do tipo de dados e itens excluídos do cálculo da pegada de carbono	54
Figura 11 - As 6 etapas do cálculo da pegada de carbono da gangorra-labirinto, exceto os transportes.....	56
Figura 12 - Mapa do processo dos transportes da cadeia produtiva da gangorra-labirinto	57

Figura 13 - Mapa do processo da resina colorida de PEMDL	58
Figura 14 - Fluxograma que descreve o ciclo de vida da produção do polietileno	58
Figura 15 - Mapa do processo da produção da placa de EVA	64
Figura 16 - Fotografia da embalagem da gangorra-labirinto	67
Figura 17 - Mapa do processo de produção da embalagem de papelão	68
Figura 18 - Fluxograma do processo de manufatura da gangorra-labirinto na Alpha Brinquedos.....	72
Figura 19 - Pegada de carbono da gangorra-labirinto- emissões de GEE no ciclo de vida	82
Figura 20 - Emissões de GEE da extração e produção das matérias-primas da gangorra-labirinto	82
Figura 21 - Emissões de GEE da manufatura da gangorra-labirinto na Alpha Brinquedos	83
Figura 22 - Emissões de GEE relacionadas ao transporte no ciclo de vida da gangorra-labirinto	84
Figura 23 - Emissões de GEE relacionadas ao descarte do produto	84

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Potencial de Aquecimento Global	44
Tabela 2 - Composição da gangorra-labirinto	53
Tabela 3 - Dados de emissão da produção de resinas de polietileno considerando todo o ciclo de vida	60
Tabela 4 - Fatores médios de emissão de GEE das resinas de polietileno	61
Tabela 5 - Composição média da resina PEMDL colorida, onde a UF=1,5 kg de PEMDL	62
Tabela 6 - Emissão da produção das matérias-primas, onde a UF = 1,5 kg de PEMDL	62
Tabela 7 - Dados do processo de coloração da resina PEMDL e as emissões de GEE por UF =1,5kg	63
Tabela 8 - Composição típica da placa de EVA	64
Tabela 9 - Dados de atividades e resultado da estimativa de emissão das principais matérias-primas constituintes da placa de EVA, onde a UF=0,022 kg.....	65
Tabela 10 - Emissão de GEE na produção da bola de gude, onde UF=0,008kg	66
Tabela 11 - Composição da embalagem de papelão	67
Tabela 12 - Dados do processo de fabricação do papel reciclado	69
Tabela 13 - Emissão no processo na fábrica de papel reciclado, com UF=0,344kg	70
Tabela 14 - Dados do processo produtivo da chapa de papelão	71

Tabela 15 - Emissão do processo produtivo das chapas de papelão por UF=0,314 kg	71
Tabela 16 - Dados de emissão do processo de fusão e moldagem do PEMDL para 1 UF de PEMDL colorido =1,5 kg	73
Tabela 17 - Emissão da embalagem de papelão descartada como lixo doméstico ..	75
Tabela 18 - Dados de transportes da cadeia produtiva da resina de PEMDL colorida	77
Tabela 19 - Emissão de GEE do transporte da cadeia produtiva da resina de PEMDL colorida onde a UF=1,5 kg de PEMDL.....	77
Tabela 20 - Dados do transporte da cadeia produtiva da embalagem de papelão ...	78
Tabela 21 - Emissão de GEE do transporte da cadeia produtiva da embalagem de papelão	78
Tabela 22 - Dados dos transportes realizados pela Alpha Brinquedos	79
Tabela 23 - Emissão nos transportes realizados pela Alpha Brinquedos.....	80
Tabela 24 - Emissão total de GEE em transportes	80
Tabela 25 - Resultados da Pegada de carbono da gangorra-labirinto, por unidade funcional do produto acabado gangorra-labirinto de 1,83 kg	82
Tabela 26 - Fator médio de emissão de GEE dos combustíveis utilizados neste trabalho	97

Lista de Abreviaturas e Siglas

BSI	<i>Brithish Standard Institution</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
Defra	<i>Departament for Environmental, Food and Rural Affairs</i>
EVA	Acetato de viniletila
GEE	Gases de Efeito Estufa
GHG	<i>Greenhouse Gas</i>
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
LOCOG	<i>The London Commitee of the Olympic Games and Paralympic Games</i>
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
ONG	Organização Não-Governamental
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCF	<i>Product Carbon Footprint</i>
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PEMDL	Polietileno de média densidade linear
RSA	Responsabilidade Socioambiental
UF	Unidade Funcional

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivo	19
2	MÉTODO	20
2.1	Pesquisa bibliográfica sobre “pegada de carbono de produto”	21
2.2	Seleção e estudo das metodologias a serem aplicadas neste trabalho	21
2.3	Definição do produto a ser estudado	22
2.4	Levantamento de dados do ciclo de vida da “gangorra-labirinto”	22
2.5	Estimativa da pegada de carbono de produto	23
2.6	Avaliação dos resultados, conclusões e recomendações	23
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
3.1	Contextualização: as mudanças climáticas e o impacto da pegada de carbono de produto nos negócios	25
3.1.1	Demandas do setor financeiro	25
3.1.2	Iniciativas emergentes na cadeia de fornecimento	26
3.1.3	Rotulagem de carbono	27
3.2	As metodologias de cálculo da pegada de carbono de produto	27
3.2.1	Carbon Trust	28
3.2.2	Carbonfound.org Foundation	29
3.2.3	PCF Project Germany	29
3.2.4	PAS 2050	30
3.2.5	Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard	30
3.2.6	Norma ISO 14067- “Pegada de Carbono de Produtos”- em desenvolvimento	31
3.2.7	ISO 14040 e ISO 14044	31
3.2.8	IPCC	35
3.2.9	GHG Protocol	36
3.2.10	ISO 14064:2006	36

4 METODOLOGIA PAS 2050	38
4.1 Objetivos.....	38
4.2 Normas e metodologias de referência.....	38
4.3 Os cinco passos do cálculo da pegada de carbono de produto.....	39
4.3.1 Mapeamento do processo.....	39
4.3.2 Definição de fronteiras e priorização.....	41
4.3.3 Coleta de Dados.....	42
4.3.4 Cálculo da pegada de carbono do produto.....	43
4.3.5 Incertezas.....	44
5 O PRODUTO “GANGORRA-LABIRINTO” E SEU CICLO DE VIDA	45
5.1 Descrição do produto “Gangorra-labirinto”.....	45
5.2 Ciclo Vida da “Gangorra-labirinto”.....	46
5.2.1 Matérias-primas.....	47
5.2.2 Manufatura da gangorra-labirinto.....	50
5.2.3 Uso do produto.....	50
5.2.4 Descarte do produto.....	50
5.2.5 Transportes.....	50
5.3 Limitações.....	51
6 ESTIMATIVA da Pegada de Carbono da “Gangorra-labirinto”	52
6.1 Unidade Funcional.....	52
6.2 Fronteiras, priorização e dados.....	53
6.2.1 Dados primários.....	54
6.2.2 Dados secundários.....	54
6.2.3 Atividades excluídas do cálculo.....	55
6.2.4 Fatores de emissão de GEE.....	55
6.3 Cálculo da pegada de carbono.....	56
6.3.1 Resina colorida de PEMDL.....	57

6.3.2 Placa de EVA.....	63
6.3.3 Produção da bola de gude.....	65
6.3.4 Embalagem de Papelão.....	66
6.3.5 Manufatura da gangorra-labirinto.....	72
6.3.6 Descarte do produto	74
6.3.7 Disposição final do produto	74
6.3.8 Transportes	75
6.4. Uso do produto.....	80
7 Resultados.....	81
8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	85
GLOSSÁRIO.....	93

1 INTRODUÇÃO

Atualmente quase todas as atividades humanas influem direta ou indiretamente no aquecimento global, por meio da emissão de gases que provocam o efeito estufa, que está desencadeando importantes mudanças climáticas em todo o nosso planeta.

A preocupação crescente com este tema está mobilizando a sociedade como um todo, e interferindo nas decisões estratégicas das organizações, no sentido de reduzir estas emissões. Para atender estas demandas, surgiram várias iniciativas para contabilização destas emissões, como o inventário de emissões de gases de efeito estufa (GEE) que contabiliza as emissões diretas e indiretas de GEE relacionadas às atividades das organizações públicas e privadas, seguindo metodologias definidas por entidades internacionais tais como o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e o *World Resources Initiative* (WRI)/*World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD).

O setor financeiro percebeu a relevância crescente das políticas corporativas de controle e mitigação de GEE e reagiu com iniciativas importantes como o relatório global do *Carbon Disclosure Project* (CDP) que contém informações anuais de políticas relacionadas a mudanças climáticas e, em 2009, teve a adesão de 475 investidores com ativos de US\$ 55 trilhões sobre o seu controle (CDP, 2009a). Para empresas de capital aberto, o Índice de Sustentabilidade Dow Jones foi pioneiro na ponderação do valor das ações de acordo com políticas de controle e redução de emissões de GEE. No Brasil, foi lançado em 2010 pela BM&FBovespa e BNDES o índice de carbono eficiente, cujo peso das ações está relacionado à taxa de emissão de carbono pelas empresas.

Mais recentemente, com as demandas do mercado, das organizações e dos consumidores, surgiu a necessidade de se conhecer a contribuição dos produtos e serviços na emissão de GEE. Foi então que surgiu o conceito de “pegada de carbono de produto”, que se constitui no tema deste trabalho.

A pegada de carbono de um produto é uma medida das emissões diretas ou indiretas de GEE relacionadas às atividades do ciclo de vida do produto em análise, e é expressa em unidades de massa de dióxido de carbono equivalente (CO₂e)

Desde 2006 (*Carbon Trust*, 2006), começaram a surgir as primeiras iniciativas na Inglaterra, Alemanha e Japão, onde foram realizados alguns projetos

com publicação dos resultados da pegada de carbono de produtos. Porém, ao mesmo tempo que estas informações passaram a se constituir num indicador importante para medir o impacto climático de produtos, começaram a surgir dificuldades decorrentes da falta de padronização destas medidas, o que prejudicava a avaliação comparativa de produtos para a tomada de decisão de redução das emissões. Parte da solução começou na Inglaterra, em 2007, quando o governo inglês encomendou à *British Standards Institution* (BSI), com apoio da *Carbon Trust* e *Department for Environment, Food and Rural Affairs* (Defra), o desenvolvimento de uma metodologia mais abrangente para implantar no país, a fim de apoiar o seu plano de redução de 80% das emissões de carbono até 2050, que foi denominada PAS 2050. Ela foi lançada em outubro de 2008 e é, atualmente, a metodologia mais consistente e completa, e de maior aceitação mundial para efetuar o cálculo da pegada de carbono de produtos ao longo de todo o ciclo de vida, ou seja, desde a extração das matérias-primas e sua manufatura e distribuição, até seu descarte final. Desta forma, a metodologia PAS 2050 foi identificada como o estado-da-arte do tema, e foi então tomada como referência na realização desta dissertação.

Na sequência de realização deste trabalho, passou-se para a escolha do produto a ser estudado, com base em critérios de simplicidade, a fim de viabilizar o seu estudo dentro do prazo desta dissertação. Começaram então as primeiras dificuldades com a busca de uma empresa que disponibilizasse seus dados produtivos para a realização do trabalho. A maioria das solicitações foi negada, devido a questões de confidencialidade das informações, até que a empresa Alpha Brinquedos concordou em participar e o produto escolhido foi o brinquedo gangorra labirinto.

Durante o desenvolvimento deste estudo foram realizados contatos com fornecedores da cadeia produtiva da gangorra labirinto, e vários deles disponibilizaram informações do processo produtivo, o que possibilitou o uso de dados primário na estimativa das emissões. Porém, para algumas matérias-primas básicas, não foi possível a obtenção de dados, e recorreu-se às informações publicadas de referências internacionais, de países desenvolvidos, algo diferente da realidade brasileira. Sabe-se que um dos maiores desvios devido ao uso destes dados relaciona-se às emissões da matriz energética, que na grande maioria destes

países está baseada em combustíveis fósseis e, no Brasil, cerca de 70% da rede interligada de eletricidade é de fontes renováveis.

Mesmo com limitações devido à falta de um banco de dados de emissões de matérias-primas básicas produzidas no Brasil, este trabalho conseguiu alcançar o seu objetivo, e apresenta de forma detalhada a estimativa da pegada de carbono do produto gangorra-labirinto ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Considerando a relevância do tema desta dissertação, no contexto climático global, em que as organizações estão cada vez mais sendo demandadas para produzirem com baixo impacto de carbono, acredita-se que este trabalho de dissertação possa contribuir com a Academia, consultorias e a comunidade, ao quantificar as emissões de um caso real, que pode ser útil como ponto de partida de novos desenvolvimentos e aprimoramentos futuros.

1.1 Objetivo

Este trabalho tem o objetivo de estimar a pegada de carbono de um produto por meio da análise de um caso real, com aplicação da metodologia mais recente e completa sobre o tema, que considera todo o ciclo de vida do produto, desde a extração das matérias-primas, manufatura e transporte, até o seu descarte.

A pegada de carbono de produto se constitui em uma importante ferramenta de avaliação de impactos ambientais para as organizações, e a autora pretende, por meio de um exemplo prático da estimativa da pegada de carbono do brinquedo gangorra-labirinto, dar sua contribuição para o entendimento deste assunto amplo e complexo, ainda em fase inicial de desenvolvimento no mundo

2 MÉTODO

O processo de trabalho foi realizado em seis etapas, conforme mostrado na Figura 1.

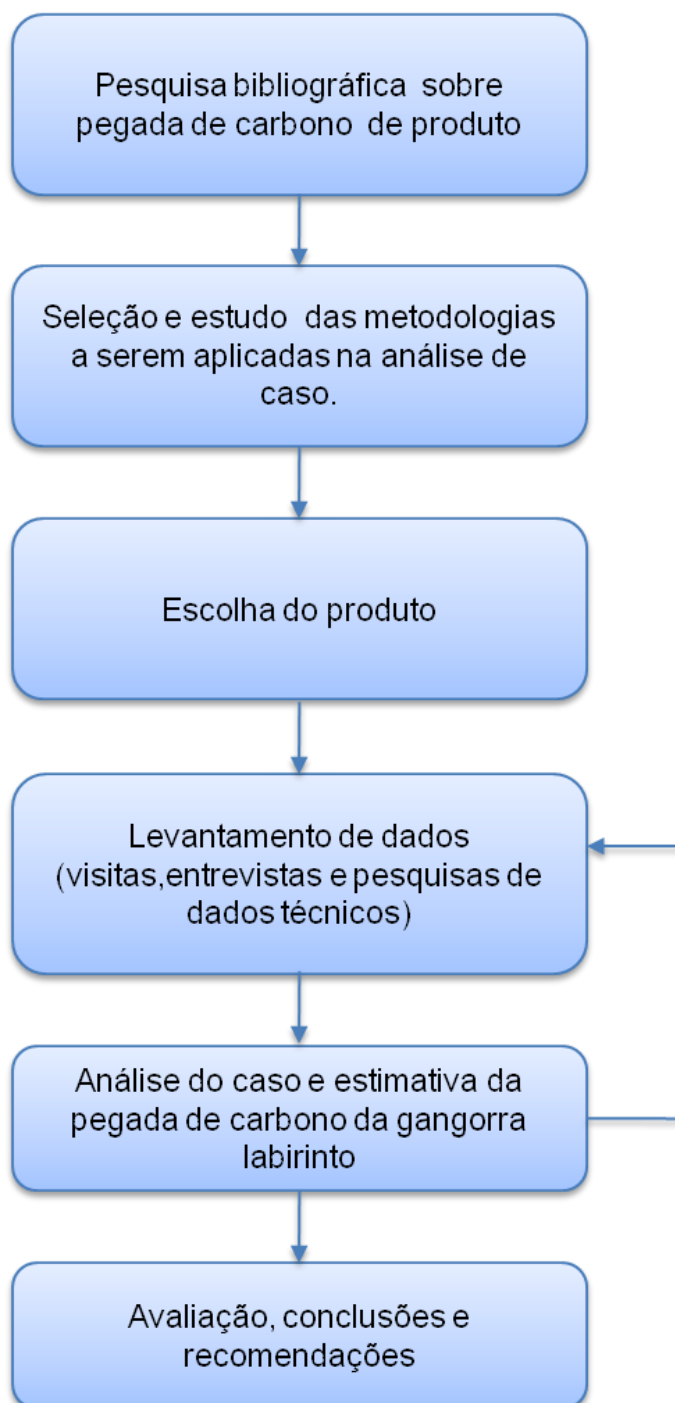


Figura 1- Fluxograma do processo utilizado no trabalho da estimativa da pegada de carbono do produto gangorra-labirinto

2.1 Pesquisa bibliográfica sobre “pegada de carbono de produto”

Nesta primeira etapa, foram realizadas pesquisas bibliográficas com o objetivo de se obter uma visão geral sobre o tema em questão. Buscaram-se definições, metodologias e aplicações do cálculo da pegada de carbono de produtos em estudos de casos, e informações relacionadas ao assunto divulgadas no mercado. Com os resultados destas pesquisas, foi possível identificar as metodologias de maior aplicação no mundo, e verificar suas diferenças com relação a critérios, nível de abrangência, finalidades de aplicação e também suas limitações.

Até setembro de 2008, as metodologias de maior abrangência e profundidade utilizadas no cálculo da pegada de carbono de produtos eram: a inglesa Carbon Trust, e a alemã *Carbon Footprint Protocol* (PCF). Estas apresentavam diferentes escopos no cálculo da pegada de carbono, inclusive com relação às fronteiras de estudo. Com a finalidade de padronizar o cálculo da pegada de carbono de produto de forma abrangente e reconhecida mundialmente, foi lançada na Inglaterra, em 29 de outubro de 2008, a metodologia PAS 2050.

2.2 Seleção e estudo das metodologias a serem aplicadas neste trabalho

A pesquisa bibliográfica realizada na etapa 1 levou à identificação do estado-da-arte do cálculo da pegada de carbono de produto como sendo a metodologia PAS 2050, cujo escopo contempla todo o ciclo de vida do produto, ou seja, desde a extração e manufatura das matérias-primas até o descarte do produto final pelo usuário. Até o início de elaboração desta dissertação, não se encontrou nenhum trabalho com a aplicação desta metodologia e, desta forma, ela foi escolhida para a realização deste estudo, por ser a mais abrangente, completa, e a mais atualizada de todas, e em alinhamento com o objetivo deste trabalho de mestrado.

A aplicação da PAS 2050 requer o conhecimento de critérios e métodos relacionados à Análise de Ciclo de Vida (ACV) de produto, e das metodologias e ferramentas de quantificação de emissões de gases de efeito estufa.

Para a realização deste trabalho, foram estudadas as Normas da série ISO 14040 e ISO 14044, que tratam da avaliação do ciclo de vida. Para o cálculo das emissões de gases de efeito estufa, foram selecionadas várias metodologias que tratam deste tema, emitidas pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) e o *WORLD*

RESOURCES INITIATIVE / WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT (WRI / WBCSD)- GHG Protocol Initiative.

2.3 Definição do produto a ser estudado

Com a visão geral do cálculo da pegada de carbono, considerando todo o ciclo de vida do produto apresentada pela Metodologia PAS 2050, pôde-se perceber a complexidade da metodologia, o que orientou a autora na busca de um produto composto por poucas matérias-primas, que possuísse um processo produtivo simples para ser objeto do estudo. Outro motivo importante, neste critério adotado, é que, desta forma, seria viável obter-se os dados necessários para a estimativa da pegada de carbono completa, ou seja, em todo o ciclo do produto.

A primeira tarefa foi identificar uma empresa que estivesse interessada nos resultados deste estudo preliminar, para que o fornecimento de dados fosse facilitado com a ajuda dos profissionais da empresa. Outra vantagem seria a possibilidade da continuidade futura deste trabalho dentro da empresa, que se enriqueceria com um maior detalhamento.

Foram feitos contatos com quatro empresas, que a princípio tiveram grande interesse no trabalho, mas, após o conhecimento das informações a serem fornecidas para o projeto, declinaram devido a dificuldades com políticas internas relacionadas à confidencialidade de seus dados.

Por fim, foi identificada a empresa Alpha Brinquedos que, apesar de não identificar uma aplicação imediata dos resultados da pegada de carbono de seu produto em termos comerciais, teve o interesse altruísta em contribuir com um trabalho acadêmico de forma voluntária. Graças à contribuição da Alpha Brinquedos que trabalho de dissertação pôde ser realizado.

Com os critérios pré-estabelecidos de simplicidade do produto, os dirigentes da Alpha Brinquedos elegeram o brinquedo gangorra-labirinto como sendo o produto ideal para este trabalho.

2.4 Levantamento de dados do ciclo de vida da “gangorra-labirinto”

Esta etapa iniciou-se com uma visita à fábrica Alpha Brinquedos nas instalações industriais, e entrevistas para levantamento de dados da cadeia de fornecedores do produto, e do processo produtivo. Com tais informações, foi possível elaborar o

mapa do processo que inclui toda a cadeia de fornecimento, e definir as fronteiras do sistema estudado, ou seja, quais atividades seriam contabilizadas no cálculo.

O próximo passo foi a coleta de dados de atividade junto aos fornecedores. Esta tarefa demandou um considerável tempo para realização, pois dependeu de agendamento de visitas, contatos e espera do fornecimento das informações.

De posse dos dados, eles foram submetidos a uma avaliação crítica de consistência, com comparação a processos similares, ou buscando informações em empresas correlatas. Para efetuar este tipo de análise, foi necessário um estudo mais aprofundado dos processos envolvidos na cadeia produtiva, que envolveu pesquisas bibliográficas e contatos com profissionais especializados em alguns setores específicos como produção de polietilenos e vidros.

2.5 Estimativa da pegada de carbono de produto

Em paralelo à coleta de dados, foram definidas as metodologias de quantificação das emissões de GEE a serem empregadas neste estudo. Para tal, foram necessários dados de atividades e fatores de emissão, ou a pegada de carbono de processos e produtos, para cada etapa do ciclo de vida. A estruturação destes cálculos foi feita em planilha Excel, por fase do ciclo de vida, e baseada nos critérios e premissas das metodologias adotadas. Esta atividade seguiu um fluxo cíclico de avaliação de resultados preliminares da estimativa de pegada de carbono e retorno ao levantamento de dados para recálculos, sempre buscando resultados consistentes, completos, atualizados e que melhor refletissem a realidade.

2.6 Avaliação dos resultados, conclusões e recomendações

De posse dos resultados da estimativa da pegada de carbono da gangorra-labirinto, foi possível identificar os impactos mais relevantes na cadeia de um produto com relação à emissão de GEE, às variações entre diferentes processos, logística, matérias-primas, entre outras.

Estas avaliações foram de encontro ao objetivo deste trabalho, que é o compartilhamento das dificuldades, limitações e as oportunidades de aprimoramentos do cálculo da pegada de carbono de um produto, aliado a um maior entendimento da metodologia PAS 2050, principalmente com relação às fases do

ciclo de vida de maior impacto nas emissões, os itens de baixa relevância que foram excluídos, e àqueles cujo cálculo de emissões se recomenda uma revisão para aprimoramento futuro deste estudo.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo contém o resumo das principais publicações pesquisadas para a realização deste trabalho. Os materiais estão agregados em tópicos, de acordo com os temas específicos, para facilitar a sua consulta.

3.1 Contextualização: as mudanças climáticas e o impacto da pegada de carbono de produto nos negócios

De acordo com o quarto Relatório do IPCC (2007), a mudança do clima foi detectada de forma inequívoca. Ações urgentes são necessárias para reduzir as emissões dos gases de efeito estufa que, nos últimos 100 anos (1906 a 2005), elevou a temperatura média global em 0,74°C. Os estudos efetuados sob vários cenários futuros, sinalizaram a necessidade de limitar o aumento de temperatura média do planeta para o máximo de 2,0 a 2,4 °C até o ano 2050, a fim de que as implicações do aquecimento global não se manifestem muito sérias a ponto de se tornarem irreversíveis, com altos custos para o meio ambiente, a sociedade e a economia.

Conforme declarado por Joseph Stiglitz e Lord Nicholas Stern (Financial Times, 2009), tornar o preço do carbono forte e estável é a única ação política para se obter um maior efeito na melhoria da eficiência econômica e combate à crise climática.

Desta forma identificou-se que o risco financeiro de mudanças climáticas e emissão de GEE se tornou um item de análise prioritária para investidores globais.

3.1.1 Demandas do setor financeiro

O risco financeiro de mudanças climáticas e emissão de GEE tornou-se um item de análise prioritária para investidores globais. Em resposta a esta evidência, foi criado o Carbono Disclosure Project (CDP), no ano 2000, uma organização independente, sem fins lucrativos, que possui a maior base de dados corporativos relacionados a mudanças climáticas mundiais. Trata-se de um requerimento coletivo e um questionário, formulado por investidores institucionais e endereçado às empresas que fazem parte das principais bolsas de valores do mundo, visando obter informações sobre as políticas de mudanças climáticas adotadas pelas empresas

Desde 2003 o CDP publica relatórios com estas informações, e tem como principal objetivo a ponderação do tema mudanças climáticas em futuras decisões de investimento que, em 2009, contou com a adesão de 475 investidores que combinam ativos de US\$ 55 trilhões sobre o seu controle (CDP,2009a).

As empresas que possuem produtos e serviços de baixa intensidade de carbono já possuem uma vantagem competitiva nas linhas de financiamento e com investidores. Um exemplo no contexto internacional é o Índice de Sustentabilidade Dow Jones (em inglês, *Dow Jones Sustainability Index-DJSI*), em que parte dos itens de qualificação e ponderação do valor das ações diz respeito às políticas de controle, redução das emissões de GEE, e estratégias de mitigação climática das empresas (DJSI, 2010). No cenário nacional, foi anunciado durante a COP 15 o lançamento em 2010 do índice de carbono eficiente (BM&FBovespa e BNDES, 2010). Este índice contempla com peso maior ações de empresas com baixas taxas de emissão de dióxido de carbono equivalente (CO₂e) e visa estimular a redução de gases de efeito estufa.

3.1.2 Iniciativas emergentes na cadeia de fornecimento

Segundo o European Union (2010), clientes, particularmente dos países desenvolvidos, estão começando a exigir que seus fornecedores apresentem dados de emissões de GEE de suas atividades, com a finalidade de incorporar estas informações no cálculo da pegada de carbono de suas operações e/ou produtos e também para tomar decisões de compra.

As grandes redes de supermercados europeus iniciaram há alguns anos a exposição de informações da pegada de carbono de produtos nas gôndolas. Muitos produtos já possuem estas informações em seus rótulos e alguns já têm um compromisso de redução de emissões de GEE. Um dos pioneiros nesta ação foi a rede Tesco, cuja iniciativa lhe trouxe o benefício de se tornarem líderes nacionais e internacionais no engajamento de consumidores em temas climáticos ao ajudá-los a reduzir sua pegada de carbono.

Este movimento tende a gerar a necessidade de cálculo da pegada de carbono de produto, já que as empresas necessitam de dados da cadeia de fornecimento.

3.1.3 Rotulagem de carbono

As iniciativas de rotulagem de carbono tiveram início na Europa como parte de uma política mais abrangente de informação aos consumidores, proporcionando assim a oportunidade de eles contribuírem para a redução das emissões de carbono. O rótulo de carbono especifica a quantidade de CO₂ equivalente contida num produto ao longo do seu ciclo de vida, e também o compromisso do seu fabricante na redução destas emissões.

O primeiro produto a ter o rótulo de carbono, lançado pela Carbon Trust, em 2007, na Inglaterra, foi o pacote de batata frita da Walkers (BBC,2007). Os cálculos da pegada de carbono de um pacote contendo 34,5 g de batata frita resultaram em 75g de CO₂ equivalente, conforme mostrado na Figura 2. Em 2008, a rede Tesco de varejo iniciou a rotulagem de carbono dos produtos de marca própria, prometendo uma “revolução no consumo verde”, com o objetivo de conduzir um movimento no mercado de massa (The Guardian, 2008).



Figura 2 - Rótulo de carbono – Walkers
Fonte: BBC (2007)

3.2 As metodologias de cálculo da pegada de carbono de produto

É por meio de uma medição e gestão global das emissões dos gases de efeito estufa que empresas e formadores de políticas podem chamar a atenção para as maiores oportunidades de redução das emissões dentro da cadeia de valor, tomando decisões mais sustentáveis sobre os produtos que compram, vendem e produzem (WRI/WBCSD,2006).

A seguir, estão resumidas as principais metodologias de quantificação da pegada de carbono de um produto divulgadas na literatura.

3.2.1 Carbon Trust

A Carbon Trust é uma organização independente, sem fins lucrativos, fundada em 2001 pelo governo da Inglaterra, para colaborar nas soluções e cumprimento das metas de redução de emissões de carbono de seu país. Em 2006, a Carbon Trust lançou uma iniciativa de medir, reduzir e comunicar as emissões ao longo do ciclo de vida de produtos e serviços, e assim auxiliar as empresas a disponibilizar um selo, o “*The Carbon Reduction Label*”, para divulgação, em seus rótulos, da pegada de carbono e da taxa de redução destas emissões num prazo de dois anos. Desta forma, a Carbon Trust passou a assumir um papel importante de possibilitar aos consumidores, principalmente ingleses, a oportunidade de incluir o fator carbono nas suas tomadas de decisão de compras.

A primeira metodologia de cálculo divulgada (Carbon Trust, [2003 a 2006]), inclui todos os gases de efeito estufa do Protocolo de Quioto gerados ao longo do ciclo de vida do produto, da produção da matéria-prima, manufatura, distribuição e disposição final do produto. Porém, exclui a fase de uso do produto, as emissões indiretas do transporte de funcionários ao trabalho, e também as emissões na loja dos varejistas porque considera estas emissões não atribuídas ao produto.

Esta metodologia tinha o objetivo de manter um equilíbrio entre ser rigorosamente analítica, mas simples o suficiente para ser aplicada de forma prática pelas empresas.

Com a publicação do “*Carbon footprints in the supply chain: the next step for business*” em novembro de 2006, a abordagem da metodologia da Carbon Trust evoluiu para o total ciclo de vida de produto, com apresentação de dois estudos de caso, onde um deles deu origem ao primeiro produto no mundo a ter um rótulo de carbono, um pacote de batata chips da empresa Walkers (Herbert, 2007).

Esta metodologia deu início ao desenvolvimento da PAS 2050 que está detalhada a seguir.

Os rótulos com a pegada de carbono são dados pela Carbon Label Company, uma empresa da britânica Carbon Trust. Entre seus clientes estão a Tesco, a maior varejista do Reino Unido, a PepsiCo e a Coca Cola, a Kimberly-Clark, a Danone Waters (com a água mineral Evian), a Cadbury Schweppes e a British Sugar

3.2.2 Carbonfound.org Foundation

A Carbonfound.org é uma organização americana, sem fins lucrativos, que atua junto a empresas de vários setores em programas de compensação de carbono, redução de emissões e marketing. Ela fornece um certificado de marca Carbon Free, com dados da pegada de carbono e compromissos de redução de emissões no rótulo de produtos.

A metodologia está publicada no documento *Carbon Footprint Protocol* (2007) que fornece uma abordagem padrão e diretrizes para determinar a pegada de carbono dos produtos certificados com a marca CarbonFree. Esta metodologia se baseia no protocolo da Carbon Trust (2007) para efetuar o cálculo da pegada de carbono, e também as Normas ISO14040/14044. Mas difere com relação às fases de uso do produto e disposição final deste. A Carbonfound.org inclui as emissões relativas ao uso do produto, sob algumas condições, para alguns itens tais como computadores, alguns eletrodomésticos e carros acima de 100.000 milhas, e as categorias de resíduos não-alimentos e embalagens.

É possível verificar que esta metodologia é específica para o selo Carbonfree.

3.2.3 PCF Project Germany

Em fevereiro de 2008, teve início na Alemanha um consórcio envolvendo quatro institutos e dez empresas, que se uniram com o objetivo de avaliar de forma prática a metodologia PAS 2050, e as normas ISO de avaliação de ciclo de vida, e assim recomendar um método de abrangência internacional e consistente cientificamente para medir a pegada de carbono de produto. E ainda definir uma comunicação de abordagem deste tema de forma a ganhar credibilidade junto aos consumidores.

Participaram do projeto piloto: o Institute for Applied Ecology, Potsdam Institute for Climate Impact Research (Oko-Institut), Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), World Wildlife Fund (WWF) e a organização THEMA¹. E contou com a participação de empresas de diversos setores: DM-drogerie markt, FRoSTA, Tchibo, T-Home e Tetra Pack, BASF, DSM, Henkel, REWE Grouputsche

¹ THEMA1 é uma organização independente, fundada em 2006, com sede em Berlin, especializada em acelerar a transição para uma sociedade de baixo carbono.

Telekom e Tengelmann Group. Elas selecionaram alguns produtos com o objetivo de desenvolver uma metodologia de cálculo da pegada de carbono de produto considerando todo o ciclo de vida. E também discutiu diferentes abordagens para fornecimento de informações sensíveis e confiáveis para clientes e consumidores, a fim de incentivar a decisão de compra e consumo de produtos ambientalmente amigáveis.

O projeto atingiu os objetivos, conforme o relatório publicado (PCF Pilot Project Germany, 2009).

3.2.4 PAS 2050

A Publicly Available Specification (PAS) 2050, lançada em Londres no dia 29 de outubro de 2008, foi elaborada pela British Standards Institution (BSI) para especificar os requisitos da avaliação de emissões de gases de efeito estufa do ciclo de vida de produtos e serviços.

O desenvolvimento da PAS 2050 foi copatrocinado pela Carbon Trust e pelo Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), onde o método de avaliação foi testado com várias empresas e diferentes tipos de produtos, tais como produtos e serviços, indústrias, distribuidores, comércio, cadeia de fornecedores ingleses e internacionais. Conforme declaração de Paul Smith, participante deste desenvolvimento, “a PAS 2050 foi criada sob o alinhamento da proposta do governo da Inglaterra de reduzir em 80% suas emissões até o ano 2050 (SMITH, 2008).”

Até o término desta dissertação, a PAS 2050 constituía-se na metodologia mundialmente mais completa para o cálculo da pegada de carbono de produto, de acordo com as publicações *Climate Labelling for Food* (2009) e *LOCOG* (2009), entre outras.

3.2.5 Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard

Os produtos e cadeias de abastecimento são globais e o mercado necessita de um método confiável, prático e internacionalmente aceito. Para atender esta demanda, as organizações Defra, Carbon Trust uniram-se ao WRI e WBCSD e iniciaram, em 2008, o desenvolvimento do método *Product Life Cycle Accounting*

and Reporting Standard. Este desenvolvimento está sendo conduzido com base nas melhores práticas e os padrões de referência são a ISO 14040 e a PAS 2050.

As entidades WRI e WBCSD lideram este trabalho que está sendo desenvolvido em um processo com participação de indivíduos, membros de ONGs, acadêmicos e executivos, e inclui a visão e o conhecimento de formuladores de políticas internacionais, além da realização de testes com 60 empresas (GHG Protocol,2010). A previsão para seu lançamento é dezembro de 2010.

3.2.6 Norma ISO 14067- “Pegada de Carbono de Produtos”- em desenvolvimento

De acordo com o PCF World Forum (2010), a International Organization for Standardization (ISO) está desenvolvendo a Norma ISO 14067, que definirá especificações de quantificação e comunicação das emissões de GEE associadas a produtos e serviços.

Esta norma está sendo elaborada com base nas normas em vigor sobre avaliação do ciclo de vida (ISO 14040/14044), e de declarações de rotulagem ambiental (ISO 14025). Sua previsão de lançamento é março de 2011, e acontecerá na sequência da publicação da nova metodologia de pegada de carbono de produto atualmente em desenvolvimento pelo WRI/WBSCB. Portanto, trará contribuições importantes ao mercado com a regulamentação da comunicação da pegada de carbono de produtos.

3.2.7 ISO 14040 e ISO 14044

As Normas ISO 14040 e ISO 14044 são as metodologias que definem os conceitos e estruturação de um estudo de Análise do Ciclo de Vida. Elas estão resumidas neste capítulo.

3.2.7.1 Princípios e estrutura

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma técnica desenvolvida para efetuar a avaliação dos impactos ambientais associados com produtos e serviços, tanto na sua fabricação quanto no consumo.

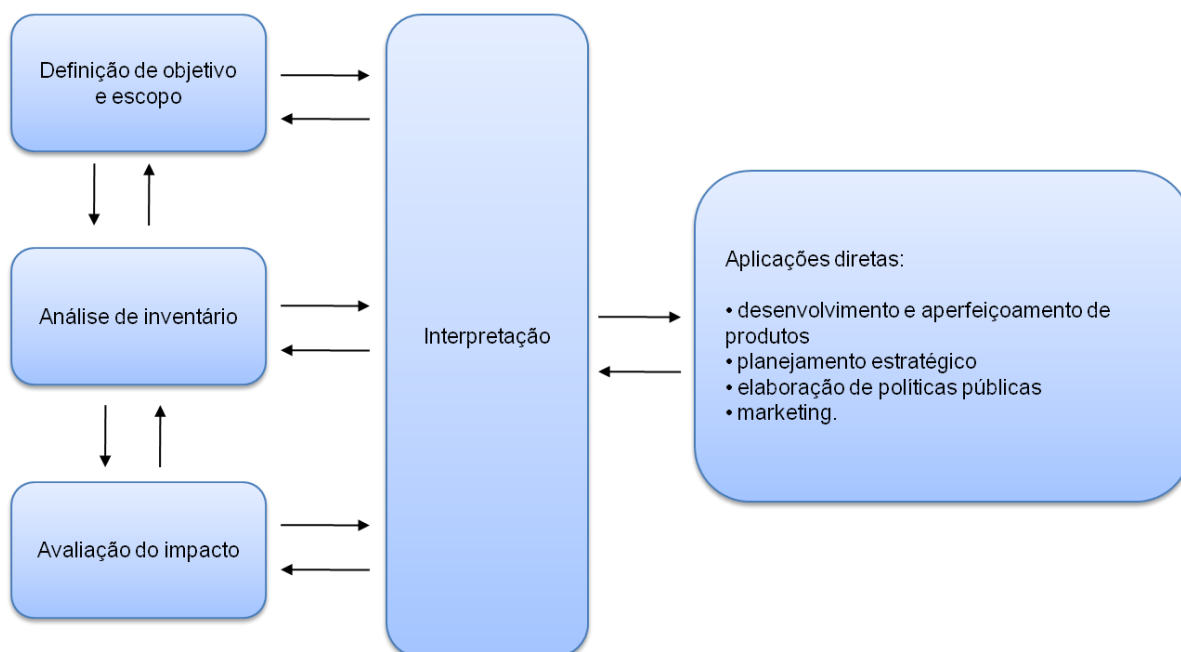


Figura 3 - Estrutura da avaliação do ciclo de vida (ACV) descritas nas Normas ISO 14040 e ISO 14044

Fonte: ISO 14040

O estudo da ACV é formado por quatro etapas, conforme mostrado na Figura 3:

- definição de objetivo e escopo;
- análise de inventário;
- avaliação de impacto;
- interpretação.

A ACV enfoca os aspectos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde a aquisição de matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até à disposição final. O cálculo da pegada de carbono de produto ao longo de seu ciclo de vida utiliza a estrutura da ACV descrita na Figura 4, porém, com um foco específico nas emissões de gases de efeito estufa (GEE) envolvidas em cada fase do seu ciclo de vida.

3.2.7.2 Conceito de sistemas de produto

A ACV efetua a modelagem do ciclo de vida de um produto por meio de seu sistema de produto, que desempenha uma ou mais funções definidas.

De acordo com o INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION 14040 (2009), um sistema de produto é formado por processos elementares, com fluxos de entrada e

saída, como resultado de suas atividades. Os processos elementares são ligados uns aos outros por fluxos de produtos intermediários e/ou de resíduos para tratamento, a outros sistemas de produto por fluxos de produtos e ao meio ambiente por fluxos elementares, conforme mostrado na Figura 4.

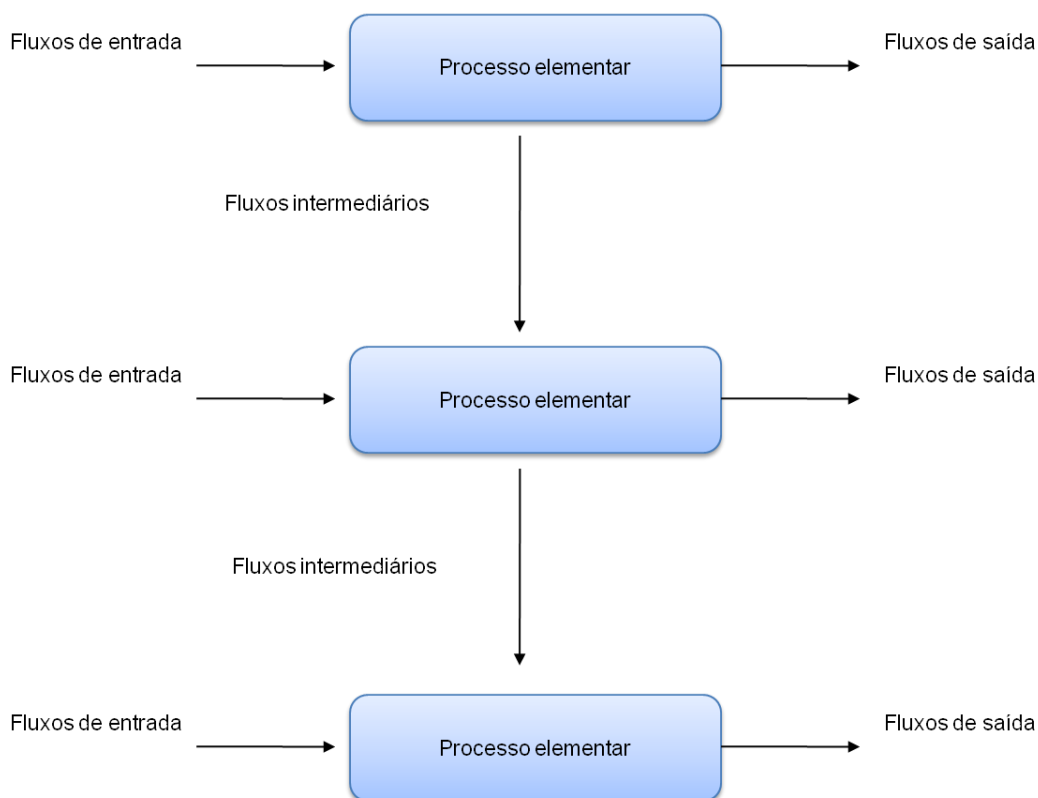


Figura 4 - Exemplo de um conjunto de processos elementares dentro de um sistema de produto
Fonte: ISO 14040

3.2.7.3 Definição de objetivo e escopo

Quanto ao objetivo, uma ACV deve declarar a aplicação pretendida, os motivos da realização do estudo, o seu público-alvo e se os resultados serão utilizados publicamente em afirmações comparativas.

O escopo deve ser definido de tal forma que assegure que a abrangência, profundidade e detalhamento do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender ao objetivo declarado. Para isto, devem ser definidos os seguintes itens:

- o sistema a ser estudado;
- as funções do sistema de produto;

- a unidade funcional (por exemplo: medida de massa, volume, ou um item do produto definido por suas características);
- a fronteira do sistema;
- procedimentos de alocação (repartição dos fluxos de entrada ou saída de um processo ou sistema);
- categorias de impacto e as respectivas metodologias de avaliação;
- requisitos de dados;
- limitações e pressupostos.

Uma característica-chave da ACV e também da metodologia PAS 2050 é o uso do conceito de unidade funcional.

3.2.7.4 Análise de Inventário de ciclo de vida (ICV)

Conforme definido pela ISO 14040, esta etapa envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes do sistema de um produto.

A coleta de dados inclui entradas de energia, matérias-primas, e outras entradas, e saídas como produtos, coprodutos e resíduos e os impactos ambientais, o que, para o cálculo da pegada de carbono de produto, refere-se à emissão e absorção de GEE.

O cálculo do inventário do produto em questão é denominado pegada de carbono de produto, e deve incluir a validação dos dados coletados e a correlação dos dados aos processos elementares e aos fluxos de referência relativos à unidade funcional.

O ICV tem uma natureza iterativa, e à medida que são levantados os dados e o conhecimento do sistema em estudo é ampliado, podem ser identificados novos requisitos ou limitações de dados que requeiram mudanças na coleta de dados, a fim de atingir os objetivos. Pode ainda ser necessária a revisão de objetivo e escopo do estudo.

As diretrizes da metodologia PAS 2050 estão alinhadas com estes requisitos da ICV da ISO14040.

3.2.7.5 Avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV)

A AICV tem o objetivo de estudar a significância dos impactos ambientais potenciais, utilizando os resultados do ICV que, em geral, são associados com categorias específicas de impactos e indicadores de categoria.

Neste trabalho, não será possível recorrer a avaliações comparativas dos resultados a indicadores de categoria, já que atualmente não existe um banco de dados de pegada de carbono de produtos no Brasil e, em países em desenvolvimento, ele ainda está sendo construído. Porém, este é um importante objetivo a ser perseguido, e o estudo de caso desta dissertação poderá ser aprimorado futuramente, à medida que sejam criados bancos de dados.

3.2.8 IPCC

O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) é um órgão criado em 1988, pela United Nations Environment Programme (UNEP) e o World Meteorological Organization (WMO) com o objetivo de liderar o estudo e divulgar ao mundo informações científicas claras sobre a situação atual das mudanças climáticas e suas potenciais consequências ambientais e socioeconômicas, visando criar mecanismos para a adaptação e mitigação dos efeitos das mudanças climáticas globais.

Uma das atividades do IPCC é suportar o United National Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) em seu trabalho de metodologias para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa. Para tal, recebe colaboração de várias entidades e empresas internacionais, e cerca de três mil cientistas de todo o mundo contribuem de forma voluntária ao trabalho do IPCC.

A partir de 1995, foram publicadas as metodologias do IPCC, denominadas “IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories”. O processo de revisão destes documentos garante informações atualizadas e constitui-se em uma referência mundial no tema mudanças climáticas.

Neste trabalho de dissertação foram utilizadas as metodologias do IPCC 2006.

3.2.9 GHG Protocol

O GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard (GHG Protocol) é uma iniciativa da parceria de empresas, organizações não governamentais (ONG), governos e outras entidades, coordenada pelo World Resources Institute (WRI) que é uma ONG sediada nos Estados Unidos, e o World

Business Council for Sustainable Development (WBCSD), uma entidade formada pela cooperação de 170 empresas internacionais, sediada em Genebra/Suíça. Ele foi lançado em 1998 com a missão de desenvolver um sistema padrão de contabilização e relatório de emissões de GEE aceito internacionalmente para empresas, e promover sua ampla adesão.

As metodologias do GHG Protocol diferenciam-se do IPCC por terem diretrizes com foco empresarial e por terem adaptado algumas metodologias do IPCC à luz da realidade das organizações. A maioria das empresas segue as diretrizes do GHG Protocol para contabilização de emissões de suas operações. Porém, o GHG Protocol referencia o IPCC como fonte de fatores de emissão e parâmetros técnicos e também em algumas metodologias que ainda não foram definidas pelo GHG Protocol, como por exemplo, para o tratamento de resíduos.

Em 2008, foi constituído o Programa Brasileiro GHG Protocol, uma iniciativa do Centro de Estudos em Sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGV) em parceria com o Ministério do Meio Ambiente do Brasil, o Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), o WRI e WBCSD.

O Programa Brasileiro tem como objetivo construir uma plataforma comum de cálculo baseada nas melhores práticas e padrões internacionais, tais como o GHG Protocol, as normas ISO e as metodologias desenvolvidas pelo Painel Intergovernamental de Mudança do Clima (IPCC), para inventários nacionais, buscando adequar todas as ferramentas à realidade brasileira.

3.2.10 ISO 14064:2006

A Norma ISO 14064:2006 contém especificações relacionadas às emissões de GEE que está dividida em 3 partes:

ISO 14064-1:2006: verificação de inventários de emissões e remoções de GEE a nível corporativo;

ISO 14064-2:2006: validação de projetos de quantificação, monitoramento e relato de reduções e remoções de GEE;

ISO 14064-3:2006: auditoria de certificação de Inventários de emissões e remoções de GEE e projetos de reduções e remoções de GEE.

4 METODOLOGIA PAS 2050

A Publicly Available Specification (PAS) 2050:2008 é uma metodologia independente, desenvolvida com a contribuição de importantes parceiros internacionais e especialistas do meio acadêmico, de empresas, governos e organizações não governamentais (ONGs). Para tal, foram constituídos dois grupos de trabalho formados por consultores e profissionais multidisciplinares (BSI, 2008). O método de avaliação foi testado com várias empresas e diferentes tipos de produtos, tais como produtos e serviços, indústrias, distribuidores, comércio, *Business to Business* (B2B), *Business to Commerce* (B2C), cadeia de fornecedores ingleses e internacionais.

Conforme declaração de Paul Smith, participante do desenvolvimento desta metodologia, “a PAS 2050 foi criada sob o alinhamento da proposta do governo da Inglaterra de reduzir em 80% suas emissões até o ano 2050 (Smith, 2008). Esta metodologia foi lançada em Londres, em 29 de outubro de 2008.

4.1 Objetivos

A metodologia PAS 2050 tem como objetivos:

- capacitar empresas de todos os tamanhos, e a partir de indústrias, avaliar a pegada de carbono de seus produtos ao longo do seu ciclo de vida e identificar as oportunidades de redução de emissões;
- compartilhar as melhores práticas, ferramentas e estruturas para calcular as emissões de GEE de produtos e priorizar oportunidades de redução de emissões.

O seu escopo inclui somente as emissões de GEE ao longo do ciclo de vida de produtos, portanto não considera outros impactos ambientais e sociais.

Esta metodologia se aplica à avaliação das emissões de GEE do ciclo de vida de qualquer tipo de produto e serviço pertencentes às categorias B2B e B2C.

4.2 Normas e metodologias de referência

Para aplicação da PAS 2050, no estudo em questão, são imprescindíveis dois grupos de documentos de referência: as Normas ISO que dão suporte nas questões

relacionadas à Análise do Ciclo de Vida e as metodologias para cálculo das emissões de GEE.

A Figura 5 resume o elenco destas referências. Estas metodologias estão detalhadas no capítulo 4.4.

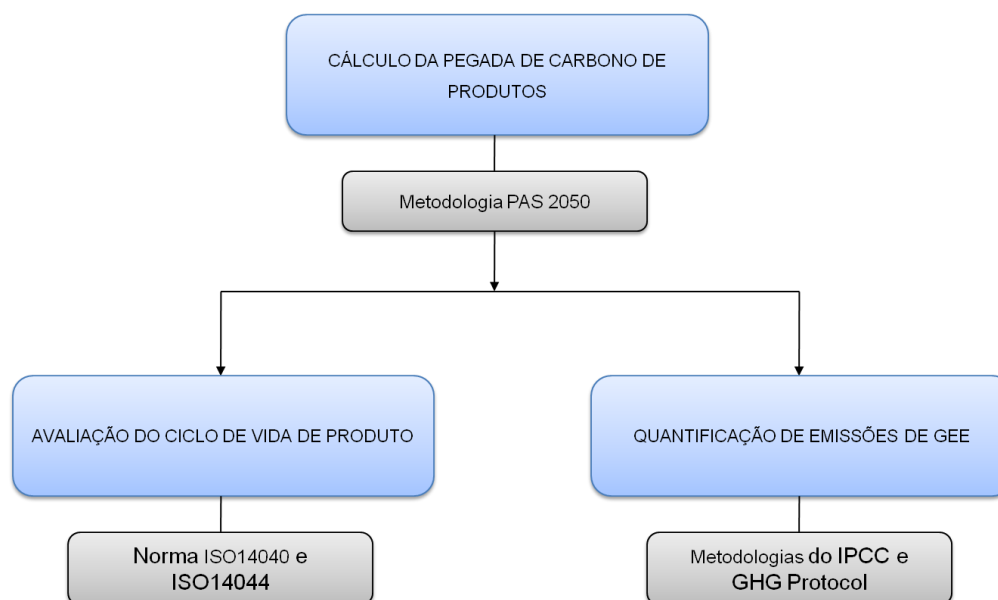


Figura 5 - Esquema de referências normativas aplicáveis com a metodologia PAS 2050

4.3 Os cinco passos do cálculo da pegada de carbono de produto

A metodologia PAS 2050 possui cinco passos principais no cálculo da pegada de carbono de qualquer produto ou serviço. O quinto passo trata da precisão dos dados, e por ser opcional não está sendo abordado nesta visão geral da metodologia.

Passo 1 – Mapeamento do processo

Passo 2 - Fronteiras e prioridades

Passo 3 - Coleta de dados

Passo 4 – Cálculo da pegada de carbono

Passo 5 – Incertezas

4.3.1 Mapeamento do processo

Para o cálculo da pegada de carbono de um produto, é fundamental a construção do mapa do processo do seu ciclo de vida, desde a extração e

processamento das matérias-primas, passando pela manufatura do produto e sua distribuição, até a disposição final. Devem ser incluídos todos os materiais, energia e fluxos de resíduos.

4.3.1.1 Business-to-business (B2B)

O mapa do B2B considera a extração e manufatura das matérias-primas até a sua distribuição para o cliente que é outra empresa. O seu ciclo também pode ser denominado de “berço-ao-portão” ou em inglês, *cradle-to-gate*.

4.3.1.2 Business-to-consumer (B2C)

Para obtenção de uma pegada de carbono confiável, é importante estruturar o processo contemplando toda a cadeia produtiva e incluir as atividades com as matérias-primas, a manufatura do produto, a distribuição do produto, e também o uso pelo consumidor e, finalmente, a disposição final e/ou reciclagem, conforme mostrado na Figura 6. O seu ciclo também é denominado de “berço-ao-túmulo” e em inglês, *cradle-to-grave*.

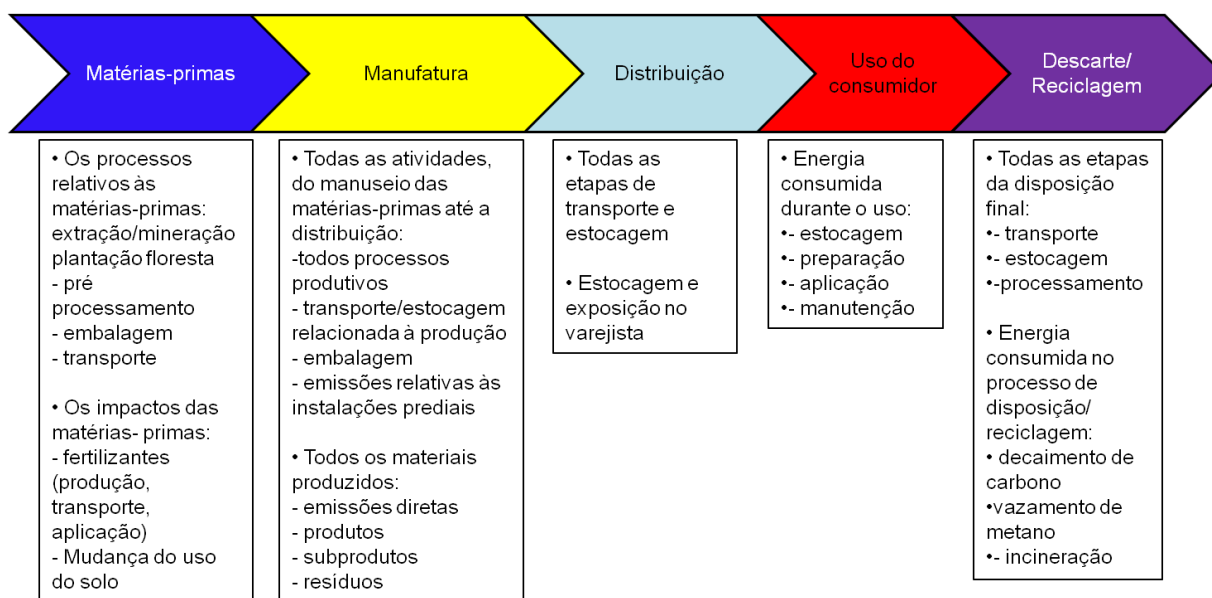


Figura 6 - Etapas do mapa do processo (em detalhe) para produtos business-to-consumer.

4.3.2 Definição de fronteiras e priorização

Com a visão geral do processo elaborada no passo 1, é possível definir as fronteiras para elaboração da pegada de carbono. O ponto-chave desta etapa é incluir emissões que sejam significativas.

4.3.2.1 Fontes de emissão não significativas

A fim de assegurar que as fontes de emissão muito reduzidas do ciclo de vida não tenham o mesmo tratamento que as fontes de emissão mais relevantes, a metodologia PAS 2050 define 1% como o limite de materialidade para o cálculo da pegada de carbono de um produto.

A recomendação é que as emissões sejam estimadas previamente para identificar as fontes de emissão definidas como “imateriais” ou não significativas.

4.3.2.2 Alocação das emissões

Seguem abaixo as principais regras definidas na PAS 2050:2008 sobre alocação de emissões.

Coprodutos: devem ser considerados no cálculo das emissões de um processo produtivo.

Emissões do tratamento de resíduos: as emissões de CO₂ provenientes de carbono biogênico utilizam o GWP igual a zero, ou seja, não são consideradas no cálculo.

Emissões da queima de metano sem produção de energia: as emissões da queima de metano somente devem ser contabilizadas se o metano provém de um componente fóssil do resíduo.

Emissões de sistemas de geração de energia renovável: as emissões relativas à energia exportada para a uma rede interligada (por exemplo, rede de eletricidade), devem ser consideradas no cálculo total das emissões do produto. No caso do uso desta energia, na forma de calor e eletricidade para mais de um processo, as emissões devem ser alocadas para cada tipo de energia fornecida.

Emissões do transporte: quando o transporte é de mais de um produto, as emissões devem ser rateadas por todos os produtos, com base no peso ou volume transportado, a ser definido de acordo com o fator limitante (peso ou volume).

Uso de material reciclado: quando o ciclo de vida possui um material com conteúdo reciclável, estas emissões devem ser consideradas no cálculo, de acordo com regras específicas da metodologia PAS 2050:2008.

4.3.2.3 Carbono estocado nos produtos

Se o produto contém carbono de origem biogênica, o impacto deste estoque de carbono poderá ser contabilizado como negativo no cálculo das emissões.

Esta regra é válida se o produto não é alimento para humano ou animal, se mantém em sua composição mais de 50% de massa de carbono biogênico por pelo menos um ano. E também se o material que contém carbono biogênico foi por meio de um processo de ação humana (por exemplo manejo de floresta) ou se este material que contém carbono biogênico foi formado por um produto reciclado ou de reuso (Neste caso deve também atender ao item desta metodologia que diz respeito a recicláveis).

4.3.2.4 Mudança do uso do solo

Todo e qualquer produto de origem agrícola deve considerar as emissões provenientes da mudança do uso do solo, e as emissões provenientes do uso direto do solo no cálculo das emissões do produto.

Existem algumas limitações na rastreabilidade destas emissões, e a PAS 2050 trata desta questão no Anexo E (BSI, 2008b).

As emissões destas atividades devem ser contabilizadas de acordo com a metodologia do IPCC.

4.3.3 Coleta de Dados

A coleta de dados é efetuada, seguindo critérios estabelecidos nos padrões ISO 14040 e ISO 14044.

4.3.3.1 Unidade funcional

As avaliações de emissões de GEE no ciclo de vida de produtos devem ser conduzidas de forma que permitam que a quantidade de CO₂ esteja associada a

uma unidade funcional do produto, como por exemplo: quantidade de produtos vendidos em unidade de massa ou volume, ou um período de tempo como dia ou ano.

4.3.3.2 Dados primários e secundários

Nesta metodologia, utilizam-se dois tipos de dados: os dados primários e secundários.

Os dados primários são aqueles medidos diretamente dos processos produtivos da empresa, quer sejam coletados internamente por ela ou realizados por terceiros.

A empresa, que está implementando a PAS 2050, deve coletar os dados de atividades do tipo primário em todas as operações que são de sua propriedade, e também naquelas que são operadas ou controladas por ela. Este é um requisito da PAS 2050.

Os dados secundários são aqueles obtidos de fontes que não possuem medidas diretas, e são utilizados quando os dados primários não são disponíveis ou a qualidade dos mesmos é questionável, como, por exemplo, o uso de fatores de emissão na produção de um produto, buscado em publicações técnicas, científicas ou de organizações.

4.3.4 Cálculo da pegada de carbono do produto

Conforme descrito em capítulos anteriores, a pegada de carbono de um produto é a somatória da quantidade de todos os materiais, energia e resíduos dos processos envolvidos dentro das fronteiras do estudo, multiplicado pelos seus respectivos fatores de emissão. O cálculo, portanto, é efetuado pela multiplicação dos dados de atividades pelos fatores de emissão apropriados para cada atividade, conforme mostrado na Equação 1.

Equação 1 - Pegada de carbono de cada atividade

$$\begin{array}{l} \text{Pegada de carbono} \\ \text{de cada atividade} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Dado de atividade} \\ \text{(unidade: massa, volume, kWh...)} \end{array} \times \begin{array}{l} \text{Fator de emissão} \\ \text{(CO}_2\text{e por unidade)} \end{array}$$

4.3.4.1 Gases de efeito estufa

O cálculo da pegada de carbono inclui todos os gases de efeito estufa considerados pelo IPCC.

Os gases de efeito estufa devem ser convertidos em dióxido de carbono equivalente (CO₂e), utilizando o potencial de aquecimento global, que em inglês é denominado *Global Warming Potential* (GWP), dentro de um horizonte de 100 anos, conforme mostrado de forma resumida na Tabela 1. A lista completa de todos os gases de efeito estufa e seus respectivos GWP aplicados pela PAS 2050 encontram-se no Anexo I.

Multiplicando-se as quantidades dos GEE pelo seu respectivo GWP, obtém-se o resultado em CO₂e, que é a unidade de medida padrão da pegada de carbono de produto.

As emissões de CO₂ de origem biogênica devem ser excluídas, com exceção apenas o CO₂ emitido pela mudança de uso do solo.

Tabela 1 - Potencial de Aquecimento Global
(horizonte de 100 anos)

Gases de efeito estufa	GWP
CO ₂	1
CH ₄	25
N ₂ O	298

Fonte: (BSI, 2008a)

4.3.5 Incertezas

As avaliações de incertezas estão relacionadas aos dados de atividades e fatores de emissão utilizados no cálculo da pegada de carbono de um produto. A recomendação é de se reduzir as incertezas o quanto possível.

5 O PRODUTO “GANGORRA-LABIRINTO” E SEU CICLO DE VIDA

Este capítulo tem o objetivo de descrever o produto a ser estudado, e a visão geral do mapeamento do processo mostrado na Figura 9, que contém todas as atividades consideradas no desenvolvimento da estimativa da pegada de carbono da gangorra-labirinto ao longo do seu ciclo de vida.

5.1 Descrição do produto “Gangorra-labirinto”

O produto “Gangorra-labirinto” é um brinquedo constituído por 6 diferentes materiais, onde o componente de maior peso é a resina de polietileno. Ele é fabricado pela empresa Alpha Brinquedos localizada na cidade de Guarulhos, no Estado de São Paulo.

A “Gangorra-labirinto” foi lançada em 2009, com o conceito de atrair a criança para uma atividade interativa com exercício físico e entretenimento, que pode ser usado como um jogo. É constituído de uma prancha côncava de plástico, com apoio para os dois pés, e possui no seu centro canais na forma de labirinto por onde percorre uma bola de gude. A criança apóia-se em pé e, por meio de movimentos do corpo, busca posicionar a bola de gude no centro do labirinto da prancha de plástico, conforme é mostrado na Figura 7.



Figura 7 - Fotografia do uso da gangorra-labirinto
Fonte: Alpha Brinquedos (2009)

O produto completo é composto por:

- 1 prancha de polietileno de média densidade linear (PEMDL);
- 2 placas de plástico de acetato de etilvinila (EVA) - para colocação dos pés;
- 1 bolinha de gude (vidro);
- 1 embalagem de papelão ondulado tipo Kraft;
- Fita gomada de fechamento da embalagem de papelão;
- Fita adesiva para fixação da bola de gude.



Figura 8 - Brinquedo Gangorra-labirinto
Fonte: Alpha Brinquedos (2009)

5.2 Ciclo Vida da “Gangorra-labirinto”

As principais informações relativas a materiais, atividades e processos que compõem o ciclo de vida do produto “Gangorra-labirinto”, estão mostradas de forma simplificada na Figura 9.

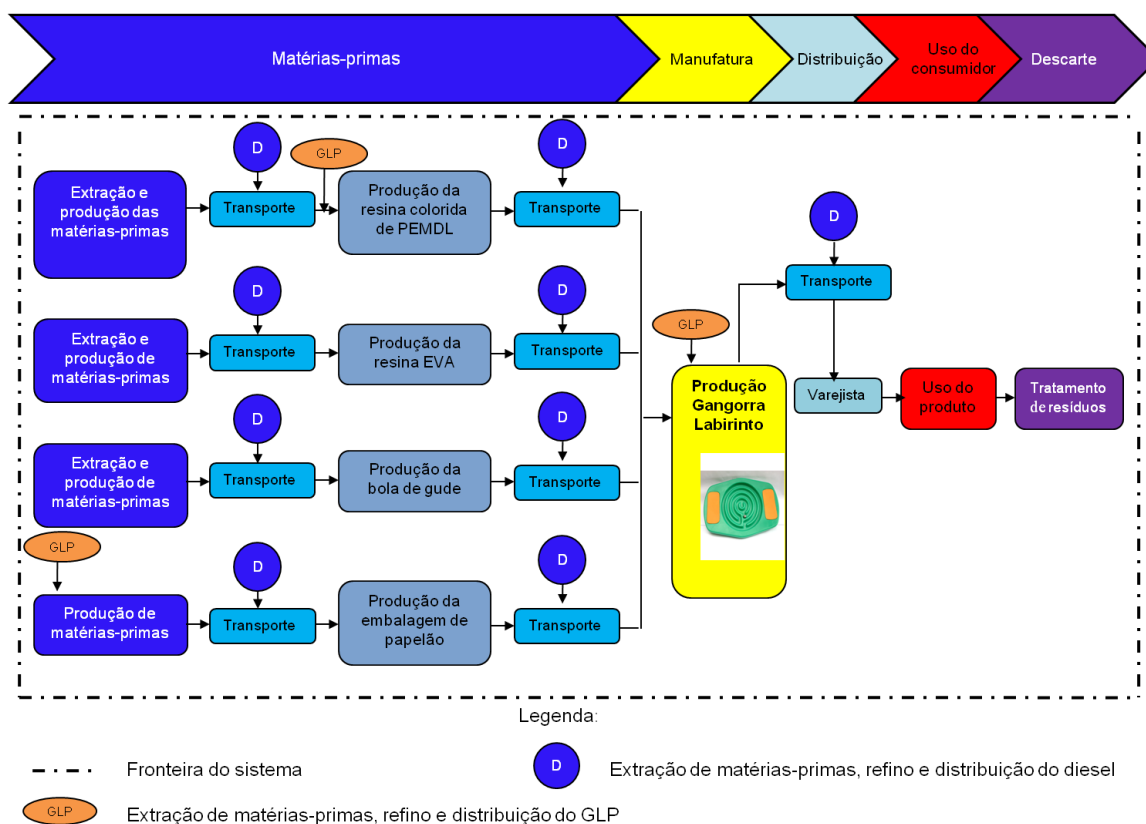


Figura 9 - Mapeamento do processo: ciclo de vida da gangorra-labirinto

Fonte: Adaptado da metodologia PAS 2050

O mapeamento do processo considera todas as etapas da cadeia produtiva da gangorra-labirinto, que se inicia com a extração e produção das matérias-primas e finaliza no descarte do produto. Como pode ser observado na Figura 9, a queima dos combustíveis fósseis nos processos produtivos e transportes também inclui a cadeia dos combustíveis, com as emissões relacionadas à extração, processamento e distribuição do óleo diesel (D) e do gás liquefeito de petróleo (GLP).

5.2.1 Matérias-primas

Neste estudo, foram incluídas as matérias-primas com peso relevante (acima de 3g), e para as quais obteve-se dados para a quantificação das emissões de GEE. São elas: a resina de PEMDL, a resina EVA, o vidro reciclado da bola de gude, o papel utilizado na produção da embalagem (caixa de papelão) e a fita gomada. Na sequência, são apresentadas as informações relacionadas a cada uma das

matérias-primas envolvidas na estimativa da pegada de carbono da gangorra-labirinto.

5.2.1.1 Resina de PEMDL

A resina de polietileno de média densidade linear (PEMDL) é a principal matéria-prima da gangorra-labirinto, com participação de cerca de 80% no peso total do produto. A Alpha Brinquedos compra a resina de PEMDL colorida diretamente do fornecedor Ico Polymers que produz na fábrica situada em Contagem(MG).

Conforme informado pela Ico Polymers, a resina de PEMDL é obtida a partir da mistura das resinas virgens de polietileno de baixa densidade linear (PEBDL) e do polietileno de alta densidade (PEAD), com adição de um masterbatch, que é uma mistura de resinas de polietilenos e corantes, que fornece a coloração à resina de PEMDL.

5.2.1.2 Resina de EVA

O copolímero Etileno-Vinil Acetato (EVA) é comprado pela Alpha Brinquedos na forma de placas de diferentes cores, de atacadistas na região do Brás em São Paulo. Por se tratar de um produto vendido em lojas de varejo, não foi possível identificar o seu fabricante.

A fim de levantar dados do processo produtivo da placa de EVA, contactou-se um fabricante da cidade de Guarulhos, que, por motivos de confidencialidade, não quis identificar-se. Ele forneceu informações da composição típica da placa de EVA, que é uma mistura de mais de dez componentes, mas não informou dados do processo produtivo.

A estimativa das emissões de GEE da manufatura da resina EVA utilizou os dados de composição média informada pelo fornecedor citado e informações obtidas em pesquisa bibliográfica, e, na falta de dados do processo produtivo, adotou-se dados da literatura pesquisada. Algumas matérias-primas de menor contribuição na fórmula não foram consideradas por não terem sido encontradas informações na literatura pesquisada.

5.2.1.3 Bola de gude

Este item também é adquirido em atacadistas na cidade de São Paulo, que são abastecidos por apenas três fornecedores de bolas de gude no Brasil.

Em pesquisa realizada junto a profissionais que atuam em fábricas de vidro, obteve-se a informação de que a bola de gude é fabricada com vidro reciclado, em processo semiautomático em que o vidro é fundido, e alimentado em uma esteira na forma de gotas, que com o movimento da esteira se transforma em uma esfera. Como não foi possível obter dados de produção nacional, utilizou-se dados obtidos na literatura de fabricante de vidro virgem e vidro reciclado na Inglaterra.

5.2.1.4 Embalagem de papelão

A cadeia produtiva da embalagem de papelão é formada por três fornecedores. A Alpha Brinquedos adquire a embalagem pronta do fornecedor Nilbatlei localizado em São Miguel Paulista- São Paulo.

A Nilbatlei compra a bobina de papel diretamente de uma fábrica de papel reciclado, e terceiriza a produção das chapas de papelão com a Cooperativa Coopercaixa. A última etapa que é a montagem e decoração da embalagem é realizada na fábrica da Nilbatlei. Todas as informações das etapas de produção da embalagem de papelão foram obtidas diretamente com os fabricantes Nilbatlei, Coopercaixa.

Apesar de não permitir sua identificação, por motivos de confidencialidade, a fábrica de papel reciclado, situada no interior do Estado de São Paulo, forneceu todos os dados para a realização deste trabalho.

5.2.1.5 Fita gomada

A fita gomada é composta por papel Kraft e cola. Devido à falta de informações técnicas da produção da cola, e por não serem encontrados os dados de emissões de GEE de cola em pesquisa bibliográfica, este item não foi incluído na estimativa de emissões.

Por simplificação, a quantidade de papel da fita gomada, que também é do tipo reciclado, foi adicionada ao papel da embalagem de papelão na quantificação de emissões.

5.2.2 Manufatura da gangorra-labirinto

A Alpha Brinquedos produz a gangorra-labirinto em sua fábrica situada na cidade de Guarulhos, em São Paulo. O processo inicia-se com a fusão e moldagem da prancha de resina de PEMDL colorida. As etapas seguintes de montagem do brinquedo com a colagem das placas de EVA e fixação da bola de gude com fita adesiva, e a embalagem na caixa de papelão, são manuais.

5.2.3 Uso do produto

O brinquedo gangorra-labirinto é utilizado por crianças de 3 a 12 anos, na forma de exercício com o corpo, e assim não possui nenhuma fonte de emissão de GEE.

5.2.4 Descarte do produto

Constituído por material plástico, vidro, e papelão, o único item que sofre degradação com emissão de gases de efeito estufa num horizonte de 100 anos, que é adotado pela metodologia PAS 2050, é o papelão da embalagem. Portanto, esta etapa considera apenas a disposição e tratamento dos resíduos da embalagem de papelão.

5.2.5 Transportes

As atividades da cadeia produtiva da gangorra-labirinto envolvem o transporte rodoviário das matérias-primas e do produto acabado, em veículos movidos a óleo diesel.

Conforme descrito no Apêndice A, além das emissões de GEE relacionadas à combustão do óleo diesel durante o transporte, também foram incluídas as emissões relativas à extração, refino e transporte do diesel até seu ponto de distribuição.

5.3 Limitações

Neste trabalho não foram avaliadas as incertezas dos dados e resultados. Os motivos para esta decisão são: o tempo limitado para o desenvolvimento deste estudo, e a falta de informações das incertezas dos fatores de emissão do ciclo produtivo das matérias-primas de países desenvolvidos.

6 ESTIMATIVA DA PEGADA DE CARBONO DA “GANGORRA-LABIRINTO”

Este estudo considera todas as atividades do ciclo de vida da gangorra-labirinto, sendo necessário obter os dados primários e secundários para a estimativa da sua pegada de carbono.

Os dados primários utilizados neste trabalho referem-se à manufatura da resina colorida de PEMDL, à produção da embalagem de papelão, à manufatura do produto e sua distribuição, e ao transporte de algumas matérias-primas. Os demais dados inclusos neste estudo são secundários, obtidos de forma indireta em literaturas publicadas do tema, ou estimados a partir de algumas premissas que estão explicitadas neste capítulo.

Este trabalho apresenta limitações relacionadas ao uso de dados secundários de extração e manufatura de matérias-primas, que na sua maioria são oriundos de outros países e desta forma não refletem exatamente a realidade brasileira, principalmente com relação à matriz energética e fontes de combustíveis fósseis. Porém, a utilização destes dados trouxe uma contribuição positiva na medida em que possibilita a quantificação da pegada de carbono do produto contemplando todo o seu ciclo de vida.

6.1 Unidade Funcional

Conforme definido pela ACV, é necessário definir-se uma unidade funcional para a quantificação da pegada de carbono de um produto.

A unidade funcional definida para o cálculo da pegada de carbono neste estudo é uma unidade do produto acabado, cuja composição está demonstrada na Tabela 2.

Tabela 2 - Composição da gangorra-labirinto

Componentes	Quantidade (kg)
1 Prancha de PEMDL	1,488
2 Placas de EVA	0,019
Cola	0,003
1 Bola de gude	0,008
Fita gomada	0,008
1 Embalagem de papelão	0,305
Fita adesiva	0,001
Total	1,831

Fonte: Alpha Brinquedos

6.2 Fronteiras, priorização e dados

Primeiramente, realizou-se uma análise preliminar de relevância e disponibilidade de dados para definir as fronteiras deste estudo, e pôde-se concluir que alguns componentes do produto poderiam ser excluídos, como detalhado a seguir.

Com o objetivo de se obter um resultado o mais próximo possível da realidade, foram realizados vários contatos com os fornecedores de cada etapa da cadeia produtiva da gangorra-labirinto, na busca de dados primários para o cálculo da pegada de carbono. Porém, por limitações de prazo, foi necessária a utilização de alguns dados secundários buscados na literatura publicada.

Com a finalização do levantamento de dados, foi possível definir o mapa do processo com suas fronteiras e tipo de dados, conforme é mostrado na Figura 10.

A linha pontilhada define a abrangência deste estudo, que é de todo o ciclo produtivo da gangorra-labirinto. Os dados primários representados em verde, foram obtidos durante visitas aos fornecedores, ou entrevistas por telefone e correio eletrônico. Os demais dados foram obtidos por meio de pesquisas bibliográficas. O uso do produto não possui fonte de emissão de GEE, e alguns dados (em amarelo) foram excluídos da estimativa devido à baixa significância ou à falta de dados

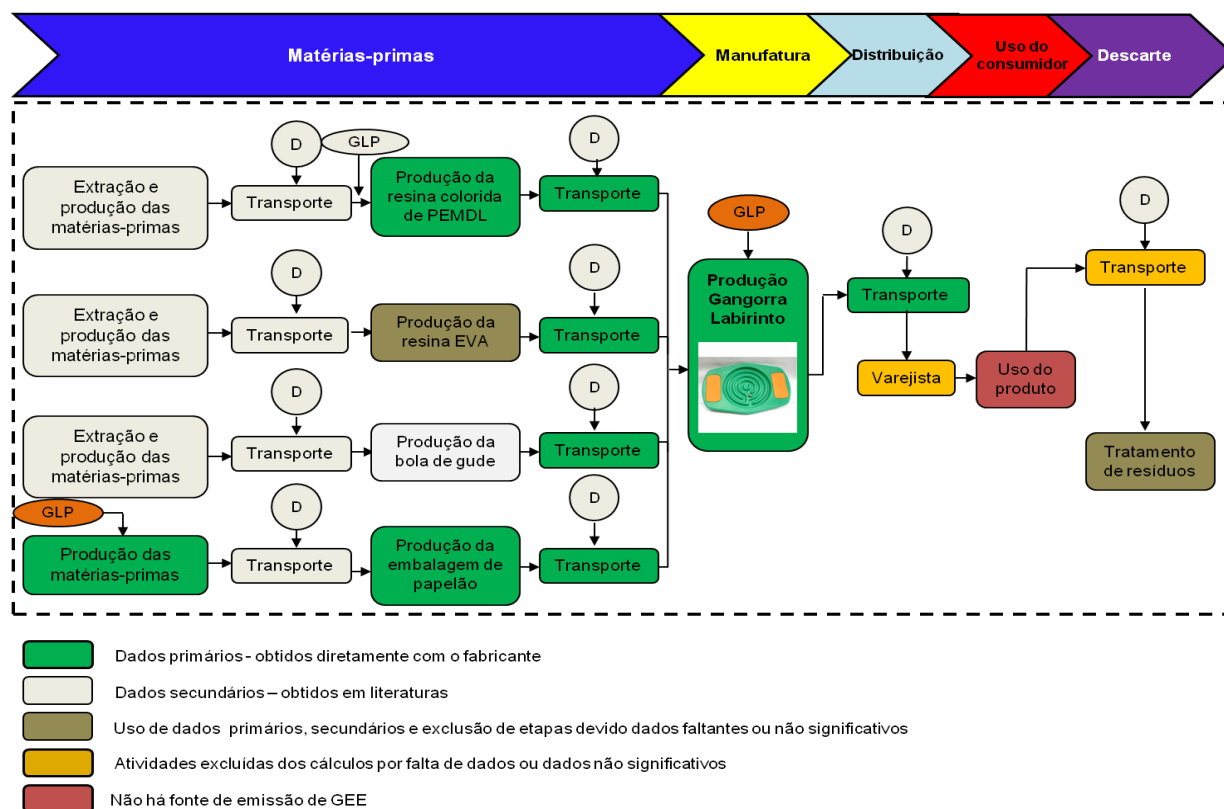


Figura 10 - Mapa do processo com identificação do tipo de dados e itens excluídos do cálculo da pegada de carbono

Fonte: Adaptado da metodologia PAS 2050

6.2.1 Dados primários

Conforme mostrado na Figura 10, os dados primários obtidos diretamente com os fornecedores se referem à cadeia produtiva da embalagem de papelão, do PEMDL, da manufatura da gangorra-labirinto na fábrica da Alpha Brinquedos, e alguns transportes.

6.2.2 Dados secundários

Os dados secundários foram pesquisados em fontes reconhecidas e publicadas oficialmente, e elas estão identificadas em cada etapa do processo. Foram tomados os devidos cuidados com a transparência destas informações, a fim de possibilitar uma análise das condições em que os dados foram obtidos, tais como características específicas do produto, tipo de processo produtivo, região onde foram produzidos, entre outras.

A maioria dos dados secundários utilizados neste trabalho referem-se à realidade de países europeus e dos Estados Unidos, os quais apresentam certa diferença com relação à intensidade de carbono da cadeia produtiva no Brasil. Em termos de tecnologia, eles têm grandes avanços na otimização da produção, o que reduz as emissões de GEE, mas, por outro lado, a matriz energética destes países está baseada principalmente em combustíveis fósseis, o que acarreta um aumento dos fatores de emissão em relação à matriz brasileira que apresenta em torno de 70% de energia renovável. Isto leva a desvios moderados, mas que ainda não é possível mensurar devido à falta de um banco de dados da pegada de carbono da produção brasileira de matérias-primas básicas.

6.2.3 Atividades excluídas do cálculo

A exclusão de alguns itens da estimativa da pegada de carbono da gangorra-labirinto deveu-se aos baixos valores quantitativos destes dados e também à falta de informações na literatura sobre fatores de GEE desses produtos, para se efetuar um cálculo prévio das emissões para confirmar sua baixa relevância, conforme as diretrizes da metodologia PAS 2050. São eles: a fita adesiva, tinta de impressão da embalagem, a cola utilizada na produção das chapas de papelão e montagem da embalagem. Devido sua contribuição em massa ser muito baixa, acredita-se que as emissões destes itens devem ficar abaixo de 1% do total das emissões.

Com relação aos transportes, não foi considerado o transporte de resíduos sólidos no descarte do produto, e o transporte do produto pelo consumidor, devido à variedade de possibilidades de meios de transporte e distâncias.

6.2.4 Fatores de emissão de GEE

Os fatores de emissão da cadeia produtiva das matérias-primas básicas foram pesquisadas em publicações específicas de cada setor produtivo.

Para o cálculo das emissões de combustão estacionária e móvel, foram utilizados os fatores de emissão de todo o ciclo produtivo dos combustíveis, sendo que o detalhamento da estimativa de cada fator médio de emissão para o óleo diesel e o GLP encontram-se no Apêndice A.

No consumo de energia elétrica, utilizaram-se os dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e, no tratamento de resíduos sólidos, os fatores de

emissão foram do IPCC 2006. Todas as fontes dos fatores de emissão estão informadas nos respectivos capítulos.

6.3 Cálculo da pegada de carbono

Neste capítulo, estão descritas todas as etapas do cálculo da pegada de carbono, incluindo a discussão dos critérios de escolha de metodologias, os fatores de emissão de GEE, as limitações encontradas, e os dados coletados.

Para facilitar o entendimento, o cálculo da pegada de carbono foi definido em 7 etapas do seu ciclo de vida, a saber:

1. Produção da resina colorida de PEMDL
2. Produção da placa de EVA
3. Produção da bola de gude
4. Produção da embalagem de papelão
5. Produção da gangorra-labirinto
6. Descarte do produto final
7. Transportes

A Figura 11 mostra as 6 etapas do ciclo de vida da gangorra-labirinto, com exceção dos transportes, que estão representados na Figura 12.

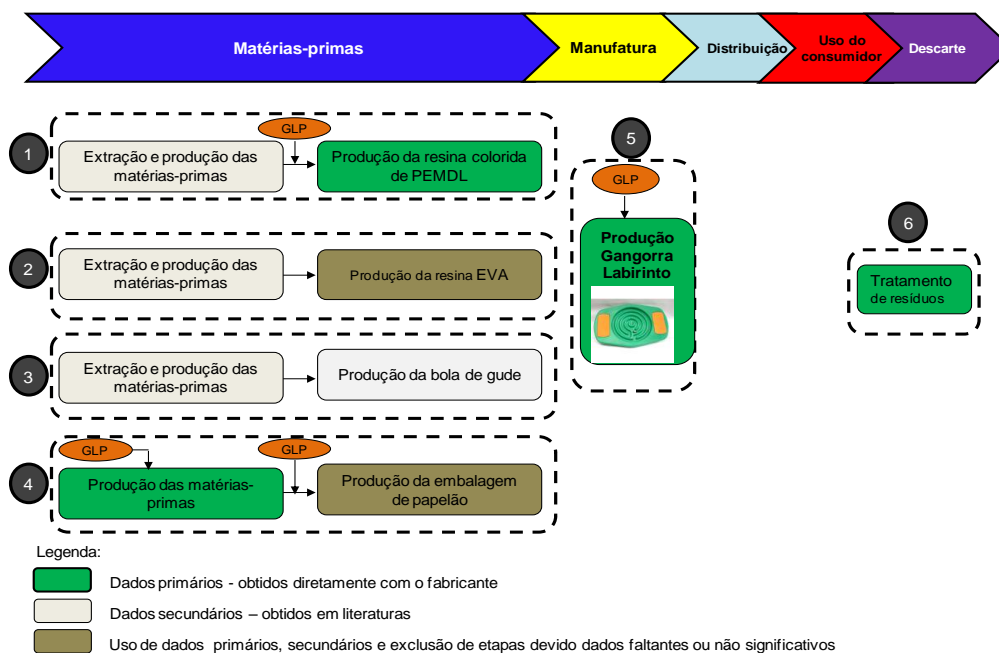


Figura 11 - As 6 etapas do cálculo da pegada de carbono da gangorra-labirinto, exceto os transportes

Fonte: Adaptado da metodologia PAS 2050

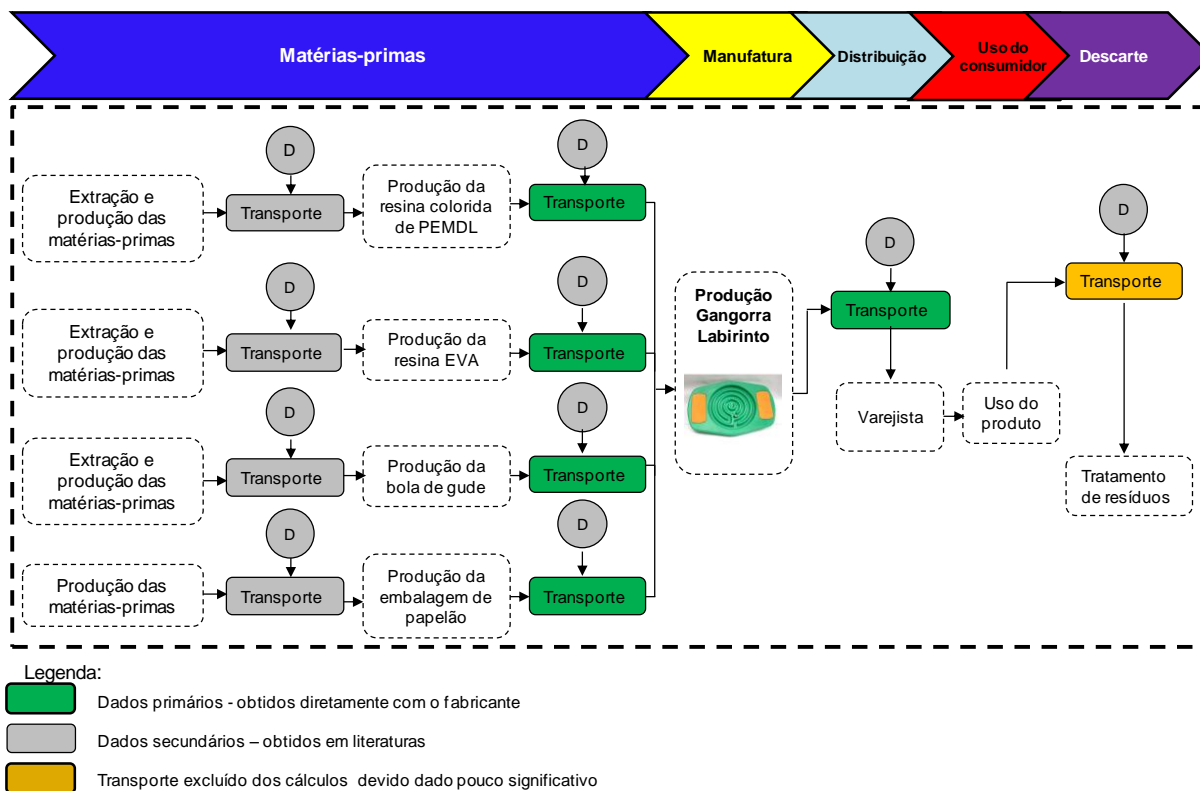


Figura 12 - Mapa do processo dos transportes da cadeia produtiva da gangorra-labirinto
 Fonte: Adaptado da metodologia PAS 2050

6.3.1 Resina colorida de PEMDL

A resina colorida de PEMDL é a principal matéria-prima da “gangorra-labirinto”, utilizada na produção da prancha, e representa cerca de 80% do peso total do produto. Ela é fabricada pela empresa Ico Polymers, a partir da mistura das resinas virgens de polietileno de alta densidade (PEAD) e de polietileno de baixa densidade linear (PEMDL), com adição do masterbatch que fornece a coloração ao produto.

Este capítulo apresenta a estimativa da pegada de carbono da resina colorida de PEMDL considerando a extração e produção das matérias-primas básicas das resinas de polietileno e a produção da resina colorida de PEMDL na Ico Polymers, conforme mostrado na Figura 13. Porém, as emissões relacionadas aos transportes nestas atividades estão descritas no capítulo 6.3.7.

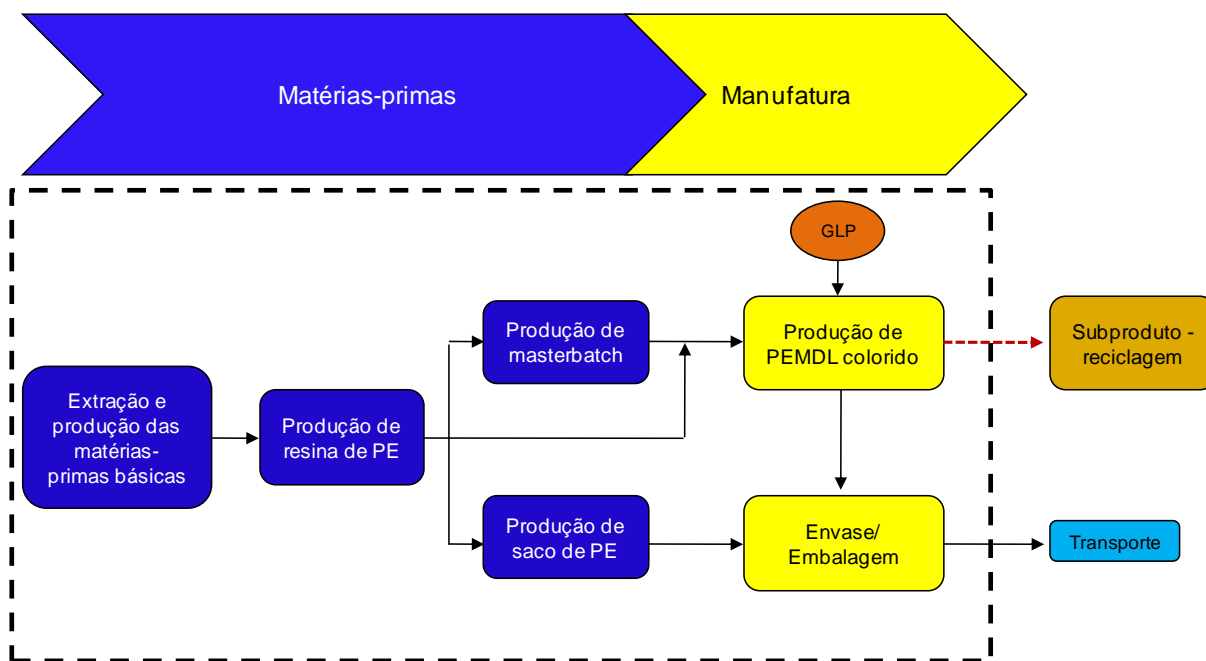


Figura 13 - Mapa do processo da resina colorida de PEMDL
 Fonte: Adaptado da metodologia PAS 2050

6.3.1.1 Extração e produção das matérias-primas básicas e produção da resina de polietileno (PE)

As resinas de polietileno são produzidas a partir de quatro processos básicos: a extração do petróleo ou gás natural, o seu refino ou processamento, a produção da nafta e etileno, e por fim, a produção do polietileno, conforme mostrado na Figura 14.

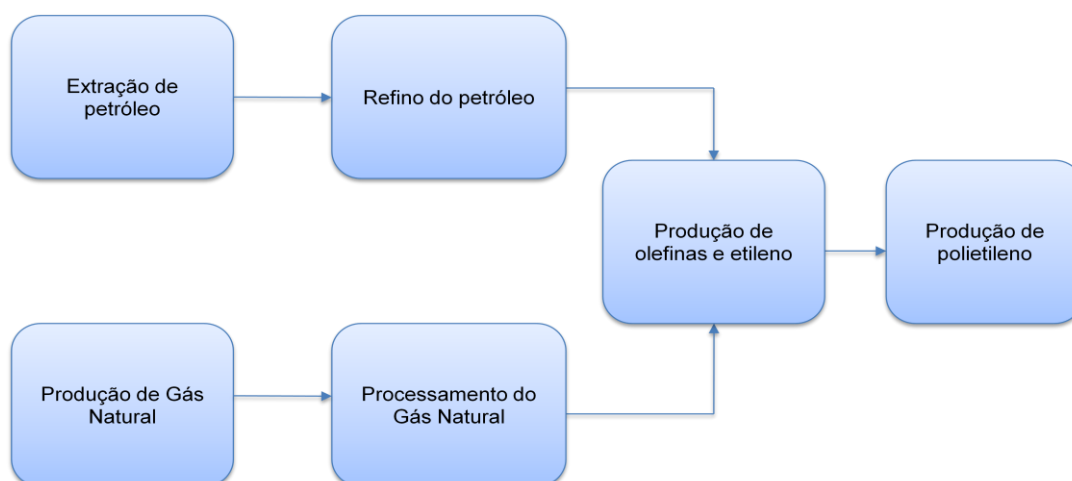


Figura 14 - Fluxograma que descreve o ciclo de vida da produção do polietileno
Fonte: Adaptado de Franklin Associates (2007)

A resina de PEMDL é formulada na Ico Polymers a partir das resinas PEAD e PEBDL, que são adquiridas diretamente do fabricante situado no polo de Camaçari (BA). Foram efetuados contatos com dois fabricantes destas resinas em Camaçari, com o objetivo de se obter dados da pegada de carbono do ciclo produtivo destas resinas, mas estas informações ainda não estavam disponíveis para divulgação. Desta forma, utilizou-se dados de literatura.

De acordo com SRI (2009), a pegada de carbono da resina de polietileno apresenta uma grande variabilidade, com valores de 1 a 3 kg CO₂e/kg polietileno. Esta variação é devida a três fatores relacionados à sua produção: ao tipo de polietileno e seu respectivo processo de polimerização, à fonte de obtenção da matéria-prima que pode ser a partir da nafta, que é um derivado do petróleo, ou do etano ou etano/propano, que são frações do Gás Natural e por último, depende também da região onde é produzido, sendo que um dos fatores mais impactantes é a matriz energética. E um quarto fator de variação é a metodologia de cálculo da intensidade de carbono adotada por cada fabricante.

Devido à falta de referências relativas às emissões de carbono da produção das resinas de polietileno no Brasil, decidiu-se por adotar a média dos valores das duas publicações mais completas sobre o assunto: Franklin Associates (2007) e Plastics Europe (2005).

Segundo o IEA (2007), a intensidade média de emissão de carbono na geração de eletricidade é de 0,676 ton CO₂/MWh nos EUA e 0,387 ton CO₂/MWh na Europa.

A publicação de Franklin Associates (2007) contém a compilação de dados da pegada de carbono da produção de diversos plásticos, de mais de 80 plantas nos Estados Unidos, e fornece dados detalhados do cálculo das emissões de cada etapa produtiva da produção do polietileno. As informações contidas na Plastics Europe (2005) são apresentadas de forma resumida e os valores ligeiramente superiores à publicação americana.

Os trabalhos publicados pela Plastics Europe e pela Franklin Associates (2007) consideram o ciclo de vida do “berço ao portão” a partir da matéria-prima nafta.

A Tabela 3 apresenta os dados comparativos destas duas referências para os três diferentes polietilenos utilizados neste trabalho de dissertação.

Tabela 3 - Dados de emissão da produção de resinas de polietileno considerando todo o ciclo de vida

Pegada de Carbono (kgCO ₂ e/kg resina polietileno)			Fonte
PEAD	PEBDL	PEBD	
1,51 *	1,52 *	1,51 *	Franklin Associates (2007)
1,90	1,80	2,10	Plastics Europe(2005)

* valores corrigidos quanto ao GWP e inclusão apenas dos GEEs considerados na PAS 2050

A publicação de Franklin Associates (2007), por conter as informações de emissões de GEE mais detalhadas, possibilitou a identificação de algumas diferenças de critérios com relação à metodologia PAS 2050, no cálculo da pegada de carbono dos polietilenos. Foram feitos alguns ajustes para alinhamento com a metodologia PAS 2050 tais como retirada da contribuição de alguns GEEs que não fazem parte do seu escopo, e o recálculo das emissões com uso dos valores de potencial de aquecimento global (GWP) adotados nesta metodologia.

Com a finalidade de melhorar a consistência dos resultados destas emissões, estes fatores de emissão foram recalculados para uso neste trabalho. Retiraram-se os GEEs não adotados pelo Protocolo de Quioto, e substituíram-se o GWP do metano (CH₄) e do óxido nitroso (N₂O) pelos valores adotados na metodologia PAS 2050 que são respectivamente 25 e 298.

Após estes ajustes, calculou-se o valor médio dos fatores de emissão dos três polietilenos das duas referências, conforme mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Fatores médios de emissão de GEE das resinas de polietileno

Resina	Fator de Emissão (Kg CO ₂ e/kg resina)	Fonte
PEMDL *	1,68	Franklin Associates (2007) e Plastics Europe(2005)
PEBDL	1,66	Franklin Associates (2007) e Plastics Europe(2005)
PEBD	1,81	Franklin Associates (2007) e Plastics Europe(2005)

* considerou-se a mistura de: 50% PEAD +50% PEBDL

6.3.1.2 Masterbatch

Masterbatches são concentrados de pigmentos, corantes e aditivos que são dispersos em uma resina que pode ser PE, PP, EVA ou outras. Não foi possível obter-se dados do processo produtivo no contato realizado com o fabricante, devido a questões de confidencialidade. Por simplificação, considerou-se, neste trabalho, que o masterbatch é formado por 80% de resina de PEMDL, e que as emissões deste item são devidas apenas à cadeia produtiva do PEMDL.

6.3.1.3 Saco de polietileno

O produto final PEMDL colorido é embalado em sacos de 25 kg de polietileno. Não se encontrou dados de emissão de GEE do ciclo produtivo do saco plástico. Portanto, incluiu-se apenas as emissões da cadeia produtiva de sua matéria-prima, que foi considerada como sendo PEBDL.

a) Produção da resina PEMDL colorida

A resina virgem de PEMDL é processada para adquirir as características físicas e coloração final para fabricação da prancha da gangorra-labirinto. Estas operações são realizadas na fábrica da Ico Polymers situada em Contagem(MG).

Conforme é mostrado no mapa do processo da Figura 11, as atividades que estão dentro da linha pontilhada foram consideradas na estimativa da emissão de GEE da resina colorida de PEMDL e serão tratadas neste capítulo.

O processo de coloração consiste basicamente na mistura da resina virgem com o masterbatch. Os cálculos de emissões relativas à produção da resina de PEMDL foram efetuados para a unidade funcional de 1,5 kg de resina colorida, cuja composição média está demonstrada na Tabela 5.

Tabela 5 - Composição média da resina PEMDL colorida, onde a UF=1,5 kg de PEMDL

Matéria-prima/embalagem	Quantidade (kg)	Fonte
Resina PEMDL virgem	1,4550	ICO Polymers
Masterbatch	0,0450	ICO Polymers
Embalagem - saco de PE	0,0060	ICO Polymers

A Tabela 6 apresenta os resultados das emissões de GEE relativas à produção das matérias-primas.

Tabela 6 - Emissão da produção das matérias-primas, onde a UF = 1,5 kg de PEMDL

Matéria-prima/embalagem	Quantidade	Fator de Emissão		Emissão de GEE
	(kg/UF)	(kgCO₂e/kg)	Fonte	(kg CO₂e)/UF
Produção de PEMDL virgem	1,4550	1,68	Franklin Associates (2007) e Plastics Europe(2005)	2,45
Produção de PEMDL do Masterbatch *	0,0360	1,68	Franklin Associates (2007) e Plastics Europe(2005)	0,06
Embalagem - saco de PEBDL	0,0060	1,66	Franklin Associates (2007) e Plastics Europe(2005)	0,01
Total				2,52

* Adotou-se 80% resina PEMDL na composição do masterbatch

O processo produtivo do PEMDL colorido na Ico Polymers utiliza apenas energia elétrica e Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) na movimentação de materiais com empilhadeiras. O fabricante forneceu os indicadores de produção relativos ao consumo de combustíveis e eletricidade, por kg de produto produzido. Estes dados e os resultados de emissão de GEE estão demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Dados do processo de coloração da resina PEMDL e as emissões de GEE por UF =1,5kg

Fontes de emissão do processo	Consumo por UF			Fator de emissão			Emissão de GEE (kg CO ₂ e)/UF
	Quantidade	Unidade	Fonte	FE	Unidade	Fonte	
Consumo de energia elétrica *	0,759	kWh	ICO Polymers	0,02	kgCO ₂ / MWh	MCT-2009	0,00001
Queima de GLP em empilhadeiras	0,002	kg	ICO Polymers	3,53	kgCO ₂ e/ kg GLP	Energetics Corporation (2007) e IPCC 2006/BEN2008	0,006
Total							0,006

* consumo relativo aos meses de ago e set/09

Quanto ao fator de emissão de GEE da combustão do GLP em empilhadeiras, considerou-se a cadeia produtiva relativa à extração, refino e transporte do petróleo até seu ponto de distribuição, conforme demonstrado no Apêndice A.

Todo o processo gera, em média, 0,35% de subproduto de polietileno o qual é reaproveitado na fabricação de uma linha específica de produtos reciclados, e os resíduos sólidos gerados de embalagens plásticas e caixas de papelão são enviados para reciclagem. Portanto, o processo não agrega emissões relativas aos sub-produtos e nem ao descarte das embalagens, pois ambos fazem parte de outro ciclo produtivo.

6.3.2 Placa de EVA

A estimativa das emissões relativas à cadeia produtiva da placa de EVA deve levar em consideração as emissões da extração e produção das matérias-primas, do processo produtivo da placa EVA e dos transportes de cada uma destas etapas.

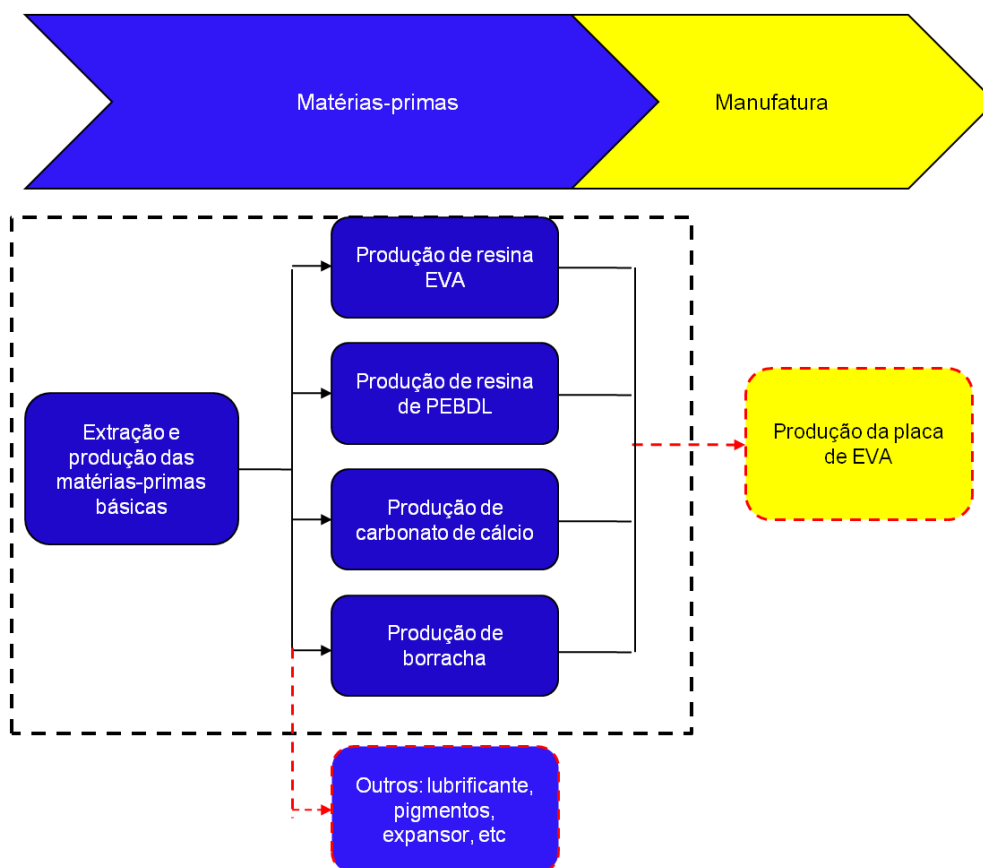
Encontrou-se pouca informação sobre a formulação do EVA e nenhum dado do processo produtivo da placa. Com a publicação de Sefapi (2009) foi possível estimar uma composição média da resina de EVA com apenas quatro matérias-primas de maior contribuição em peso (Tabela 8), que são a resina EVA, o PEBD, o carbonato de cálcio e a borracha do tipo SBR.

Com as limitações relatadas, as emissões de GEE da cadeia produtiva da placa de EVA foram estimadas somente para as operações mostradas dentro da linha pontilhada, indicadas no mapa do processo da Figura 15.

Tabela 8 - Composição típica da placa de EVA

EVA virgem	25%
PEBD	10%
Carbonato de cálcio	20%
borracha	10%
lubrificante	35%
pigmentos	
expansor	
ativador	
resinas recicladas	

Fonte: Sefapi (2009)

**Figura 15 - Mapa do processo da produção da placa de EVA**

Fonte: A autora

O fator de emissão da fabricação da resina EVA publicado por SRI (2007) considera apenas as emissões do processo contínuo de fabricação a partir do etileno e acetato de vinila, sem incluir as emissões relativas à produção das matérias-primas e sua distribuição. Com a finalidade de utilizar a abordagem do ciclo de vida nestes cálculos, adicionou-se a parcela da produção da matéria-prima

etileno, que contribui com 87,2% da composição desta resina segundo a publicação do SRI (2007).

A Tabela 9 apresenta a relação dos componentes inclusos na estimativa da pegada de carbono da resina EVA. A unidade funcional considerou 15% de perdas de material durante o corte das placas de EVA. É importante salientar que foi possível efetuar a estimativa de emissões de apenas 65% do total de materiais da placa de EVA. Os demais componentes que representam 35% do produto não foram inclusos por falta de dados.

Tabela 9 - Dados de atividades e resultado da estimativa de emissão das principais matérias-primas constituintes da placa de EVA, onde a UF=0,022 kg

Matéria-prima		%	Quantidade ¹		Fator de emissão (kgCO ₂ /kg produto)		Emissão de GEE (kg CO ₂ e/UF)
			(kg)	Fonte	Valor	Fonte	
Resina EVA virgem	Produção do etileno	25%	0,005	Sefapi (2005)	1,35	KEITI (2009)	0,0064
	Produção da resina		0,005		0,70	SRI Consulting (2007)	0,0038
Produção de PEBD		10%	0,002	Sefapi (2005)	1,81	Franklin Associates (2007) e Plastics Europe(2005)	0,0039
Carbonato de cálcio		20%	0,004	Sefapi (2005)	0,08	Pruett (2009)	0,0003
Borracha - SBR		10%	0,002	Sefapi (2005)	2,49	KEITI (2009)	0,0054
Total							0,020

Os fatores de emissão das matérias-primas são de referências publicadas e, com exceção do carbonato de cálcio, todos os demais são relativos à produção fora do Brasil. Segundo PRUETT (2009), o fator de emissão da produção de carbonato de cálcio, no Brasil, possui o menor valor em relação a outros países, devido à baixa intensidade de carbono da matriz energética brasileira e ao transporte do caolin da mina para a fábrica ser efetuado por tubulação e não transporte rodoviário.

6.3.3 Produção da bola de gude

A bola de gude é adquirida de atacadistas que vendem em lote de milheiro na região do Brás em São Paulo. Não foi possível obter dados de emissão de GEE diretamente do fabricante de bola de gude no Brasil, mas sabe-se que é produzido a partir de vidro reciclado.

A informação encontrada em literatura é de um fabricante inglês, Barret (2002), que publicou dados da pegada de carbono da fabricação de vidro a partir de matérias-primas naturais e de vidro reciclado. Na falta de dados da realidade brasileira, foram utilizados estes fatores de emissão que refletem as condições do processo produtivo, escala de produção, eficiência e matriz energética da Inglaterra, que é diferente das condições no Brasil, principalmente devido às fontes renováveis na geração de eletricidade.

Conforme é mostrado na Tabela 10, a estimativa de emissão de GEE da produção da bola de gude considerou as emissões da produção do vidro da matéria-prima original do produto, e também as emissões do processo de fabricação da bola de gude a partir de vidro reciclado, visando considerar a mesma abordagem de ciclo de vida.

Tabela 10 - Emissão de GEE na produção da bola de gude, onde UF=0,008kg

Etapa do ciclo produtivo	Quantidade	Fator de emissão		Emissão de GEE
	(kg)	(kgCO ₂ e/kg vidro)	Fonte	(kgCO ₂ e/UF)
Produção da matéria-prima (vidro virgem)	0,008	8,39	Barret (2002)	0,067
Produção da bola de gude (vidro reciclado)	0,008	1,43	Barret (2002)	0,011
Total				0,079

6.3.4 Embalagem de Papelão

Conforme mostrado na Figura 16, a embalagem da gangorra-labirinto é composta por chapas de papelão e o fechamento final é feito com uso de fita gomada de papel cor parda.



Figura 16 - Fotografia da embalagem da gangorra-labirinto

Fonte: Elaborado pela autora

Devido à falta de dados do fator de emissão, a cola de amido, cola da fita gomada, tinta branca do papelão e a tinta de flexográfica de decoração não foram incluídas no cálculo. Porém, estes itens contribuem em quantidade muito baixa no produto e, é bem provável que suas emissões fiquem abaixo de 1% do total, e venham a ser consideradas imateriais. A Tabela 11 apresenta a composição da embalagem considerada nos cálculos.

Por simplificação, a estimativa de emissões de GEE da embalagem de papelão considerou juntamente o papelão e o papel reciclado da fita gomada.

Tabela 11 - Composição da embalagem de papelão

Matéria-prima	Quantidade (kg)
Papelão	0,305
Fita gomada	0,008
Total	0,313

Fonte: Nilbatlei

As atividades da cadeia produtiva da embalagem de papelão consideradas na estimativa de emissões da embalagem de papelão estão representadas na Figura

17, dentro da linha pontilhada. Os processos de reciclagem das aparas de papel, tanto na produção do papel reciclado, quanto no subproduto, não foram considerados nestes estudo, porque não fazem parte do ciclo de operações da embalagem de papelão.

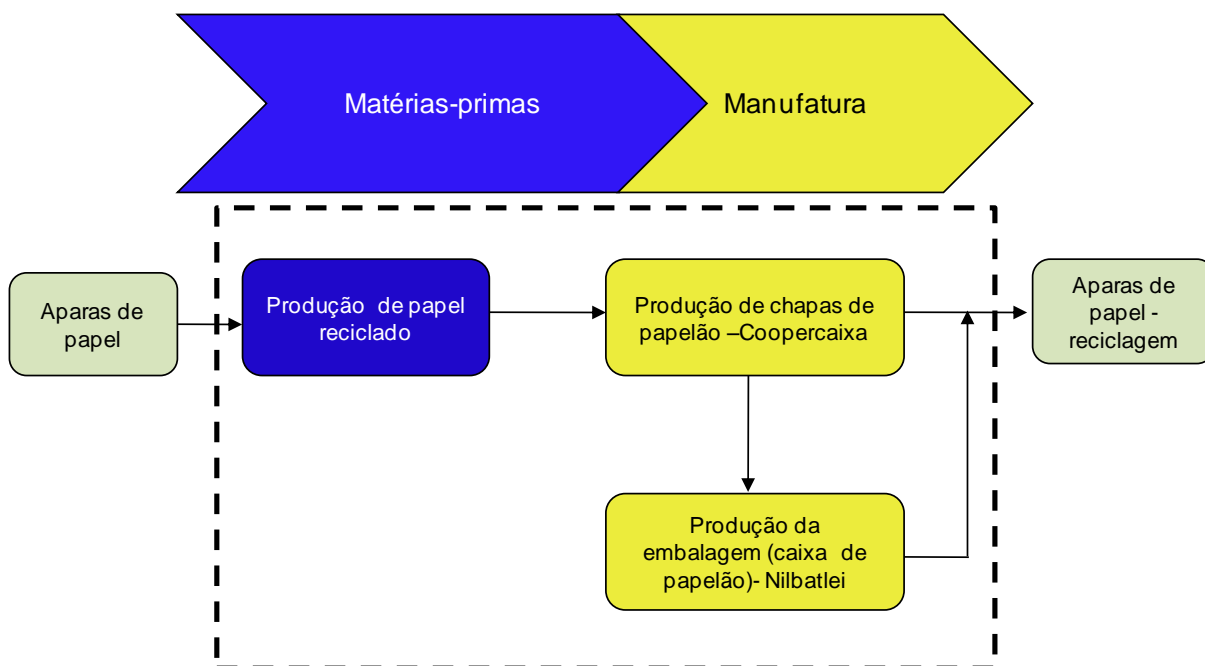


Figura 17 - Mapa do processo de produção da embalagem de papelão
Fonte: Adaptado da metodologia PAS 2050

O cálculo das emissões de GEE de cada uma das etapas produtivas da embalagem de papelão está descrito nos itens a seguir.

a) Produção de papelão

O papelão é produzido em uma fábrica que processa apenas papel do tipo reciclado, situada no interior do Estado de São Paulo. Os dados do processo produtivo, mostrados na Tabela 12, foram fornecidos pelo próprio fabricante, que prefere não ter sua identificação revelada por questões de confidencialidade.

A embalagem de papelão é geralmente descartada no lixo comum em menos de dois anos após sua compra. Portanto, não se aplica, neste caso, o carbono armazenado na embalagem, conforme diretrizes da metodologia PAS 2050.

Tabela 12 - Dados do processo de fabricação do papel reciclado

Parâmetro do processo	Quantidade	Unidade
Consumo de energia elétrica	0,5273	kWh/kg papel
Consumo de diesel	0,0009	litros/kg papel
Queima de GLP em empilhadeiras	0,0007	kg / kg papel
Queima de lenha nas caldeiras	0,0008	m ³ / kg papel

Fonte: Fábrica de papel

A emissão de CO₂ relativa à queima da lenha nas caldeiras não foi considerada porque, sendo um material biogênico, não devem ser contabilizadas na pegada de carbono, segundo a metodologia PAS 2050. As parcelas relativas à emissão de CH₄ e N₂O não foram inclusas devido à sua baixa relevância (<1%), já que os fatores de emissão destes gases são muito baixos.

Quanto ao fator de emissão de GEE, além da combustão do GLP em empilhadeiras, considerou-se a cadeia produtiva relativa à extração, refino e transporte do petróleo até seu ponto de distribuição, conforme demonstrado no Apêndice A.

A unidade funcional considerada nesta etapa foi de 0,334 kg, que corresponde à quantidade total de papel reciclado da caixa de papelão e da fita gomada, acrescida das perdas de processo. Estes dados estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Emissão no processo na fábrica de papel reciclado, com UF=0,344 kg

Fontes de emissão do processo	Consumo por UF		Fator de Emissão			Emissão (kg CO ₂ e/UF)
	Quantidade	Unidade	FE	Unidade	Fonte	
Consumo energia elétrica	0,1760	kWh	0,025	kgCO ₂ /MWh	MCT (2009)	0,00000
Queima de GLP	0,0002	kg	3,53	kgCO ₂ e/kg GLP	NETL (2009), Energetics Corporation (2007) e IPCC 2006/ BEN2008	0,0008
Consumo de diesel	0,0003	litros	3,31	kgCO ₂ e/l diesel	NETL (2009), Energetics Corporation (2007) e IPCC 2006/ BEN2008	0,0009
Total						0,0018

Nota-se que a emissão no processamento do papel reciclado é muito baixa, e deve-se principalmente à queima de biomassa nas caldeiras.

b) Produção de chapas de papelão

A Coopercaixa recebe as bobinas de papel da fábrica de papel e produz as chapas de papelão conforme especificação definida pelo cliente Nilbatlei. A chapa de papelão é constituída de três partes: a capa interna, o miolo ondulado e a capa externa, todas elas constituídas de papel reciclado. Estas três camadas são agregadas com o uso de cola de amido.

O processo produtivo queima lenha em caldeira e GLP em empilhadeiras e restaurante, além de consumir energia elétrica. Os resíduos de papelão do processo são da ordem de 4,7%, e foram considerados como perda no cálculo unidade funcional que foi de 3,14 kg nesta etapa. Estes resíduos são enviados para reciclagem externa à Coopercaixa, portanto não fizeram parte deste estudo.

A Tabela 14 apresenta os dados do processo produtivo obtidos diretamente do fabricante Coopercaixa.

Tabela 14 - Dados do processo produtivo da chapa de papelão

Parâmetro do processo	Quantidade	Unidade	Fonte
Consumo de energia elétrica *	0,0745	kWh/kg papelão	Coopercaixa
Queima de GLP em empilhadeiras e restaurante	0,0020	kg / kg papelão	Coopercaixa
Queima de lenha nas caldeiras	0,0006	m ³ / kg papelão	Coopercaixa
Perda total no processo de fabricação de chapas/onduladeira	4,7	%	Coopercaixa
Consumo de cola na onduladeira	10,0	g/m ² papelão	Coopercaixa

* dados médios referentes ao período de outubro a dezembro/2009

A Tabela 15 apresenta os resultados de emissão, onde as emissões de CO₂ da queima de lenha não foram incluídas no cálculo por causa da sua origem biogênica, bem como as emissões de CH₄ e N₂O, por não serem significativas.

Tabela 15 - Emissão do processo produtivo das chapas de papelão por UF=0,314 kg

Fontes de emissão do processo	Consumo por UF		Fator de emissão			Emissão de GEE (kg CO ₂ e/UF)
	Quantidade	unidade	F.E.	Unidade	Fonte	
Consumo de energia elétrica *	0,0234	kWh	0,006	kgCO ₂ /kWh	MCT(2009)	0,00014
Queima de GLP	0,0006	kg	3,53	kgCO ₂ e/kg GLP	IPCC 2006/ BEN2008 NETL(2009)	0,00223
Total						0,002

* consumo referente ao período out a dez/2009

c) Produção da embalagem

A única fonte de emissão de GEE do processo produtivo da embalagem final na Nilbatlei é o consumo de energia elétrica nas máquinas que efetuam o corte, vinco e impressão da arte das placas de papelão. As demais operações de montagem que demandam maior tempo no processo são manuais. As perdas totais

na forma de aparas de papelão são de cerca de 3%, e são enviadas para reciclagem.

Como não foi possível obter dados de consumo de energia elétrica nos processos da Nilbatlei, a emissão de CO₂ correspondente não pôde ser considerada neste trabalho. Porém, é provável que, devido ao baixo consumo de eletricidade nestas atividades e ao baixo fator de emissão da rede interligada, estas emissões estariam sendo excluídas por imaterialidade, ou seja, por estarem abaixo de 1% do total.

6.3.5 Manufatura da gangorra-labirinto

O processo produtivo na Alpha Brinquedos é dividido nas etapas de moldagem da prancha de polietileno, e montagem e embalagem do produto final, que estão descritas a seguir.

a) Processo produtivo

A Alpha Brinquedos adquire as matérias-primas e produz a gangorra-labirinto, conforme o processo mostrado na Figura 18.

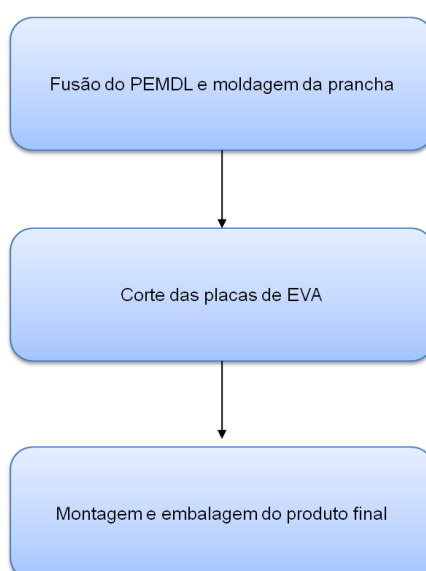


Figura 18 - Fluxograma do processo de manufatura da gangorra-labirinto na Alpha Brinquedos
Fonte: Alpha Brinquedos

As operações de manufatura da gangorra-labirinto começam com a fusão da resina colorida de PEMDL colorida e moldagem da prancha do produto. Nesta etapa, a unidade funcional considerada é de 1,5 kg de PEMDL colorido.

O equipamento é formado por câmaras de aquecimento prévio do molde e fornos para a fusão e cura da resina que utiliza Gás Liquefeito de Petróleo (GLP). A perda total desta etapa é de 0,8% de resina na forma de rebarbas que são enviadas para reciclagem externa.

Os dados de consumo de energia elétrica e de GLP para fusão e moldagem de 1,5 kg de PEMDL e as respectivas emissões encontram-se na Tabela 16. Os resultados mostram que as emissões, devido ao consumo de eletricidade, são imateriais.

Quanto ao fator de emissão de GEE, além da combustão do GLP no processo, considerou-se a cadeia produtiva relativa à extração, refino e transporte do petróleo até seu ponto de distribuição, conforme demonstrado no Apêndice A.

Tabela 16 - Dados de emissão do processo de fusão e moldagem do PEMDL para 1 UF de PEMDL colorido =1,5 kg

Fontes de emissão do processo	Consumo por UF			Fator de emissão			Emissão (kgCO ₂ e/UF)
	Quantidade	Unidade	Fonte	FE	Unidade	Fonte	
Consumo de energia elétrica	0,14	kWh	Alpha	0,02	kgCO ₂ /MWh	MCT(2009)	0,000003
Queima de GLP em equipamentos	0,50	kg	Alpha	3,53	kgCO ₂ e/kg GLP	Energetics Corporation e IPCC 2006 /BEN2008	1,76
Total							1,76

A etapa seguinte é a montagem da prancha do produto com as duas placas retangulares de etileno vinil acetato (EVA). As placas são cortadas manualmente na medida de 9 cm por 21 cm, e a seguir são coladas na prancha de PEMDL e deixadas para secar ao ar livre. A perda média no corte é de 15%.

Na sequência, a bola de gude é fixada no centro da prancha com fita adesiva e este conjunto é inserido na caixa de papelão que é fechada com fita gomada. O produto fica estocado na própria fábrica da Alpha Brinquedos até ser transportado para distribuidores ou diretamente para os clientes.

Nestas operações de montagem manual, a única fonte de emissão é o consumo de energia elétrica da iluminação que é rateado na produção de outros itens na Alpha Brinquedos. Portanto, esta contribuição é muito baixa e também se enquadra no critério de imaterialidade.

6.3.6 Descarte do produto

A gangorra-labirinto possui quatro itens a serem descartados após o uso, que são: a fita adesiva, a embalagem de papelão, a prancha de PEMDL que possui duas placas de EVA, e a bola de gude.

O usuário poderá descartar estes materiais no lixo comum domiciliar ou em coleta seletiva para posterior reciclagem. Geralmente, o lixo doméstico é destinado a aterros ou lixões onde sofrem degradação com emissão de gases de efeito estufa.

De acordo com Grippi (2001), o tempo de degradação do plástico é superior a 500 anos e do vidro é indeterminado. Portanto, as emissões relativas a estes materiais não foram incluídas, neste trabalho, porque a metodologia PAS 2050 se aplica para um horizonte de até 100 anos e estes são considerados inertes no tratamento em aterros ou lixões.

As emissões relativas aos processos de reciclagem destes materiais inertes não foram consideradas, neste estudo, porque são realizadas fora do sistema do produto, e desta forma não são consideradas pela metodologia PAS 2050.

Com o exposto neste capítulo, este trabalho considerou as emissões relacionadas somente ao descarte da embalagem de papelão no lixo doméstico.

6.3.7 Disposição final do produto

Para se estimarem as emissões de gases de efeito estufa de resíduos sólidos, são necessários dados sobre o destino dos resíduos e os fatores de emissão.

Por número de municípios brasileiros, a destinação dos resíduos sólidos no Brasil é de 63,6% em lixões a céu aberto e 32,2% em aterros adequados (PNUD; MCT; CETESB, 2007). O restante, 4,2%, tem outra destinação como as usinas de compostagem e a incineração.

O método utilizado para a estimativa das emissões provenientes dos aterros é o de decaimento de primeira ordem da metodologia do IPCC de 2006, onde também foram obtidos alguns fatores de emissão.

Segundo o IPCC 2006, tanto o CO₂ emitido diretamente do biogás proveniente do tratamento de resíduos sólidos, quanto o CO₂ emitido da oxidação do metano nos queimadores de aterros controlados, não são considerados emissões de gases de efeito estufa porque são oriundos de fonte biogênica. O gás de efeito estufa considerado nesta metodologia é apenas o metano (CH₄).

Neste trabalho, as emissões de GEE do descarte da embalagem de papelão foram estimadas para os extremos, ou seja, o lixão e o aterro sanitário com e sem queima de biogás, e também para a classe “não categorizado”, conforme mostrado na Tabela 17.

Tabela 17 - Emissão da embalagem de papelão descartada como lixo doméstico

Destinação	Emissão de 1 UF (305g) (kg CO ₂ e)
Lixão	0,27
Aterro Sanitário (não queima de biogás)	0,68
Aterro Sanitário (queima de biogás com eficiência de 70%)	0,24
Não categorizado	0,40

Com os resultados obtidos (Tabela 17), decidiu-se utilizar, neste trabalho, o valor médio de emissão, referente ao destino “não categorizado”.

6.3.8 Transportes

As atividades da cadeia produtiva da gangorra-labirinto envolvem transporte terrestre em veículos movidos a óleo diesel.

A maioria dos dados de transporte utilizados na estimativa de emissões foi informada pelos próprios fornecedores das empresas envolvidas. E no caso dos

dados não disponíveis, foram adotadas algumas premissas que estão descritas em cada etapa do transporte.

No ano 2009, o óleo diesel foi distribuído no território brasileiro com teor de 3% e 4% de biodiesel. Porém, em algumas regiões, o óleo diesel ainda não tem adição de biodiesel. Por um critério conservador, foi adotada a premissa de uso do óleo diesel 100%.

Outra premissa no cálculo das emissões de transporte diz respeito ao consumo médio de combustível, que foi adotado o mesmo para o veículo carregado ou vazio.

Quanto ao fator de emissão de GEE, além da combustão do óleo diesel no veículo, considerou-se a cadeia produtiva relativa à extração, refino e transporte do petróleo até seu ponto de distribuição, conforme demonstrado no Apêndice A.

O mapa de processo dos transportes envolvidos no ciclo de vida da gangorra-labirinto encontra-se na Figura 15.

O Apêndice A contém os critérios aplicados na determinação dos fatores de emissão de GEE dos combustíveis utilizados neste capítulo, a partir das referências NETL(2009) e Energetics Corporation (2007).

6.3.8.1 Transportes da ICO Polymers

Os dados de transporte dos insumos utilizados na produção da resina colorida de PEMDL foram obtidos com o fornecedor Ico Polymers, conforme mostrado na Tabela 18.

Na falta de dados se as carretas fazem a viagem de volta vazias, tomou-se como premissa a prática do mercado logístico, em que as transportadoras possuem parcerias na otimização dos transportes, denominado “transporte casado”, para que a mesma carreta faça a viagem de volta com outras cargas. Adotou-se a premissa de que, em viagens acima de 500 km, os veículos retornam com novas mercadorias. A única exceção é da viagem da resina colorida de Americana para Guarulhos, onde a Alpha Brinquedos informou que o caminhão volta vazio, e, nestes casos, o consumo de combustível foi considerado a mesma quantidade na ida e volta.

Tabela 18 - Dados de transportes da cadeia produtiva da resina de PEMDL colorida

Material transportado	UF (kg)	Dados do transporte			Fonte
		Carga (média) (kg)	Trecho	Distância (km)	
Resinas PEAD e PEBDL	1,455	24.750	Camaçari/BA-Contagem/MG	1400	ICO Polymers
Masterbatch	0,045	100	Suzano/SP - Contagem/MG	660	ICO Polymers
Embalagem - sacos plásticos	0,000	5.000	Iguaçu/SC - Contagem/MG	1200	ICO + premissas
Resina colorida	1,500	14.000	Contagem/MG- Americana/SP	750	ICO Polymers
Resina colorida	1,500	2.000	Americana/SP - Guarulhos/SP	140	Alpha Brinquedos

As estimativas de consumo de combustível foram proporcionais à carga transportada, e os resultados encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19 - Emissão de GEE do transporte da cadeia produtiva da resina de PEMDL colorida onde a UF=1,5 kg de PEMDL

Material transportado	Consumo Diesel	Fator de Emissão		EMIÇÃO
	Unidade	Unidade	Fonte	
	(litros/UF)	(kgCO ₂ e/litro)		(kgCO ₂ e/UF)
Resinas PEAD e PEBDL	0,033	3,31	NETL (2009), Energetics Corporation (2007) , IPCC 2006 /BEN2008	0,1090
Masterbatch	0,002	3,31		0,0079
Embalagem - sacos plásticos	0,000	3,31		0,0000
Resina colorida	0,020	3,31		0,0665
Resina colorida	0,021	3,31		0,0695
Total				0,253

6.3.8.2 Transportes de papel e papelão

Esta etapa contempla o transporte da bobina de papel, das chapas de papelão e da embalagem de papelão, conforme mostrado na Tabela 30.

A fábrica de papel utiliza transportadoras que têm logística para fazer a viagem de volta com carga, portanto o consumo de combustível foi considerado apenas no transporte de ida.

A Coopercaixa e a Nilbatlei, por transportarem cargas menores e em trechos curtos, o retorno do veículo é geralmente vazio. Neste caso, considerou-se o consumo de combustível na ida e volta.

Tabela 20 - Dados do transporte da cadeia produtiva da embalagem de papelão

Material		Dados do transporte			Fonte
Tipo	UF (kg)	Carga (kg)	Trecho	Distância (km)	
Bobina de papel	0,334	28.000	Fábr. papel-Itaquaquecetuba/SP	155	Fábrica de papel /Nilbatlei
Chapas de papelão	0,314	1.800	Itaquaquecetuba/SP-S.Miguel Paulista/SP	15	Nilbatlei
Embalagem de papelão	0,305	1.500	S.Miguel Paulista/SP-Guarulhos/SP	10	Nilbatlei

Com os dados da Tabela 20, estimou-se o consumo de combustível por unidade funcional, adotando-se dados médios de consumo de óleo diesel de 2,5 km/litro para carreta grande e 5 km/litro para caminhão médio. E a partir destes dados, as emissões foram estimadas, conforme mostrado na Tabela 21.

Tabela 21 - Emissão de GEE do transporte da cadeia produtiva da embalagem de papelão

Material transportado	Consumo	Fator de Emissão		EMIÇÃO
	Diesel por UF	Unidade	Fonte	
	(litros)	(kgCO ₂ e/litro)		(kgCO ₂ e/UF)
Bobina de papel	0,001	3,31	NETL, Energetics Corporation e IPCC /BEN2009	0,002
Chapas de papelão	0,001	3,31		0,003
Embalagem de papelão	0,001	3,31		0,002
Total				0,0080

6.3.8.3 Transportes na Alpha Brinquedos

A Alpha Brinquedos utiliza sua frota própria na compra de alguns insumos no mercado varejista na cidade de São Paulo, e também em algumas entregas do produto acabado, nos depósitos de seus clientes.

A Tabela 22 contém a lista das viagens efetuadas pela Alpha Brinquedos. Segundo a empresa, estas viagens são realizadas em um veículo a diesel modelo Sprinter, de capacidade máxima 1.500kg, que transporta, em média, 40% da carga máxima.

A estimativa das emissões destes transportes considerou a distância média dos trajetos e um consumo médio do veículo de 5,7 km/ litro de diesel. No transporte do produto acabado considerou-se um lote médio de 20 unidades por viagem.

Tabela 22 - Dados dos transportes realizados pela Alpha Brinquedos

Material transportado	UF	Quantidade por viagem	Dados do transporte	
			Trecho	Distância (km)
Placa de EVA	(kg)	(kg)	São Paulo (Brás)- Guarulhos	20
Bola de gude	0,019	98,5	São Paulo (Brás)- Guarulhos	20
Fita gomada	0,008	8,0	São Paulo (Brás)- Guarulhos	20
Gangorra Labirinto	0,008	10,0	Guarulhos-Barueri/Osasco/ABC	50
	1,831	37,3		

Fonte: Alpha Brinquedos

Os resultados das emissões na Tabela 23 mostram que apenas o transporte do produto acabado é relevante, com emissão de 0,18 kgCO₂e por unidade funcional.

Tabela 23 - Emissão nos transportes realizados pela Alpha Brinquedos

Material transportado	Consumo Diesel por UF	Fator de Emissão		EMIÇÃO (kgCO ₂ e/UF)
		Unidade	Fonte	
	(litros)	(kgCO ₂ e/litro)		
Placa de EVA	0,0002	3,31	NETL, Energetics Corporation e IPCC /BEN2008	0,0007
Bola de gude	0,0001	3,31		0,0003
Fita gomada	0,0001	3,31		0,0003
Gangorra Labirinto	0,054	3,31		0,1772
Total				0,1786

6.3.8.4 Emissão total em transportes

A emissão total dos transportes foi de 0,08 kg CO₂e, conforme mostrado na Tabela 24.

Tabela 24 - Emissão total de GEE em transportes

Ciclo produtivo	Emissão (kgCO ₂ e)
Resina colorida de PEMDL	0,253
Embalagem de papelão	0,008
Alpha Brinquedos - compra de insumos (placa de EVA, bola de gude e fita gomada)	0,001
Alpha Brinquedos- produto acabado	0,177
Total	0,439

6.4. Uso do produto

O uso do brinquedo gangorra-labirinto requer apenas atividade física na sua utilização. Portanto, o seu uso não está relacionado a nenhum tipo de emissão de gás de efeito estufa.

7 RESULTADOS

A estimativa da pegada de carbono do brinquedo gangorra-labirinto, utilizando a metodologia PAS 2050, forneceu o resultado de 5,31 kg de CO₂e.

Os dados da Tabela 25 mostram que, dentre as 7 etapas avaliadas do ciclo de vida, apenas as emissões relacionadas à extração e manufatura das matérias-primas placa de EVA e embalagem de papelão forneceram resultados 'imateriais', com contribuição menor que 1% do total. Apesar da não-relevância destes itens, decidiu-se mantê-los no estudo aqui apresentado a título de ilustração, já que pela metodologia PAS 2050 eles podem ser desconsiderados do cálculo da pegada de carbono do produto.

Tabela 25 - Resultados da Pegada de carbono da gangorra-labirinto, por unidade funcional do produto acabado gangorra-labirinto de 1,83 kg

Etapas do ciclo de vida		Emissão		
		(kgCO ₂ e)/UF	(%)	
Matérias-primas	Resina de PEMDL colorida	2,6000	48,9	50,9
	Placa de EVA	0,0200	0,4	
	Bola de gude	0,0786	1,5	
	Embalagem de papelão	0,0042	0,1	
Manufatura da gangorra labirinto		1,7647	33,2	33,2
Transportes		0,4395	8,3	8,3
Descarte da embalagem de papelão		0,4047	7,6	7,6
Total		5,3116	100,0	100,0

A seguir, estão os gráficos que demonstram os resultados da pegada de carbono consolidado do produto gangorra-labirinto e nos seus ciclos produtivos.

A Figura 19 apresenta o gráfico da pegada de carbono da gangorra-labirinto ao longo do seu ciclo de vida, onde é possível perceber a relevância das emissões relacionadas às matérias-primas e à manufatura do produto.

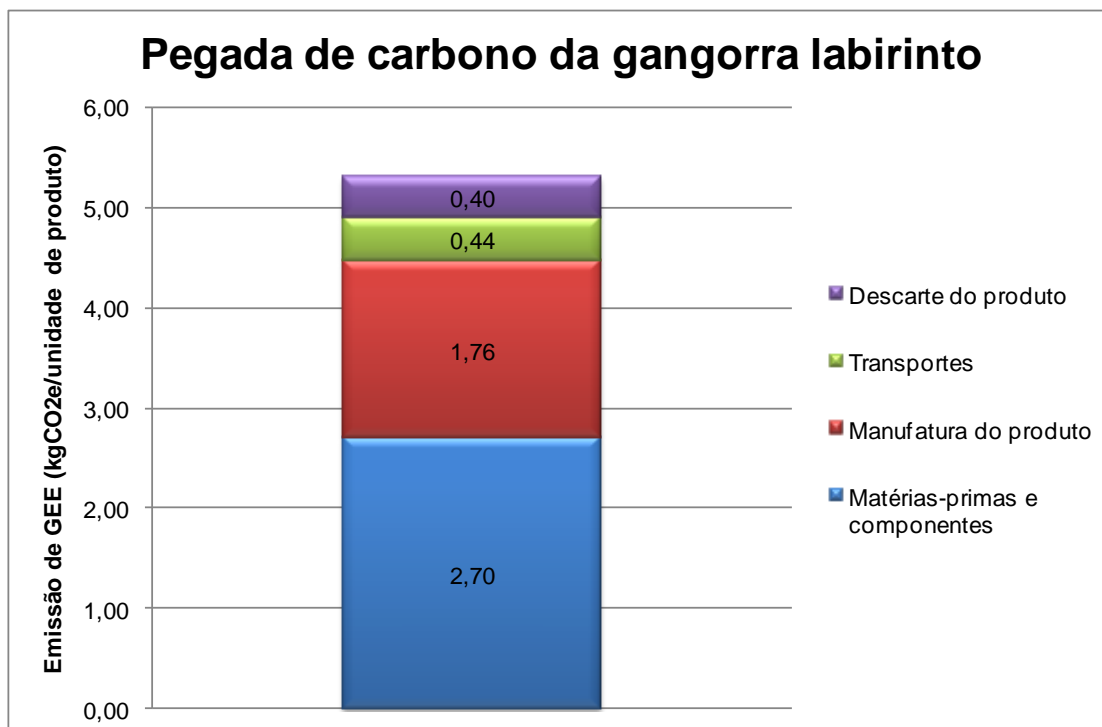


Figura 19 - Pegada de carbono da gangorra-labirinto- emissões de GEE no ciclo de vida

Conforme mostrado na Figura 20, a contribuição do ciclo produtivo das matérias-primas representou 59% das emissões da pegada de carbono da gangorra-labirinto. E destas, o ciclo do PEMDL representa 96,3%.

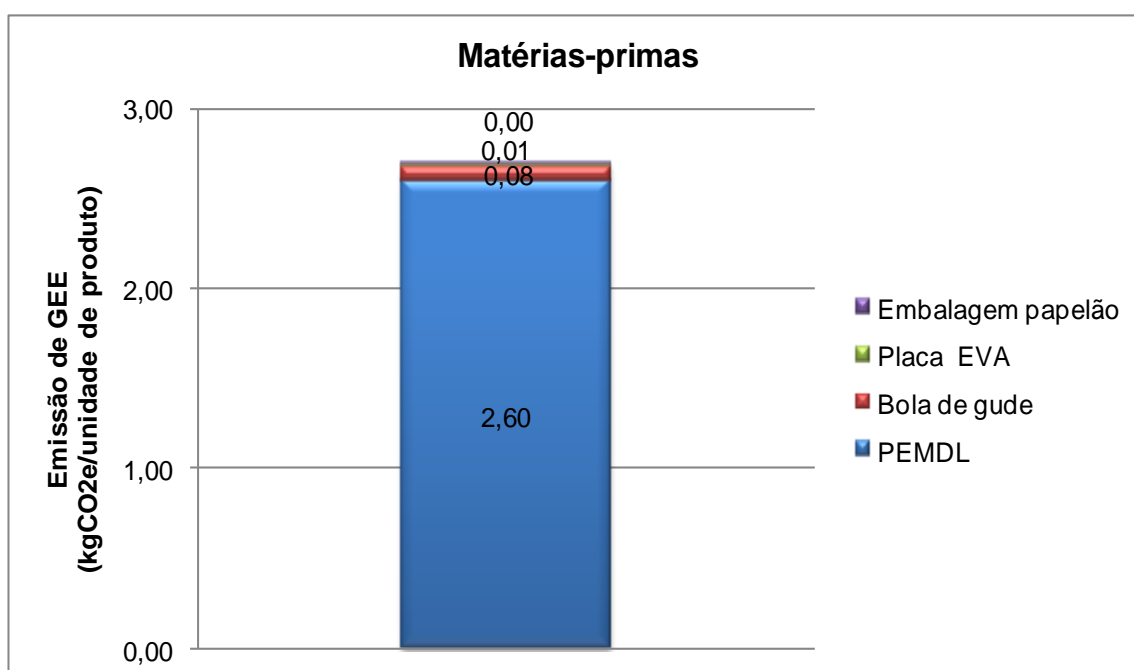


Figura 20 - Emissões de GEE da extração e produção das matérias-primas da gangorra-labirinto.

Como era esperado, as emissões relativas à manufatura da gangorra-labirinto na Alpha Brinquedos são apenas da queima do GLP, conforme mostrado na Figura 21.

E nos transportes, 57% das emissões são relativas à cadeia produtiva da resina de PEMDL, conforme demonstrado na Figura 22.

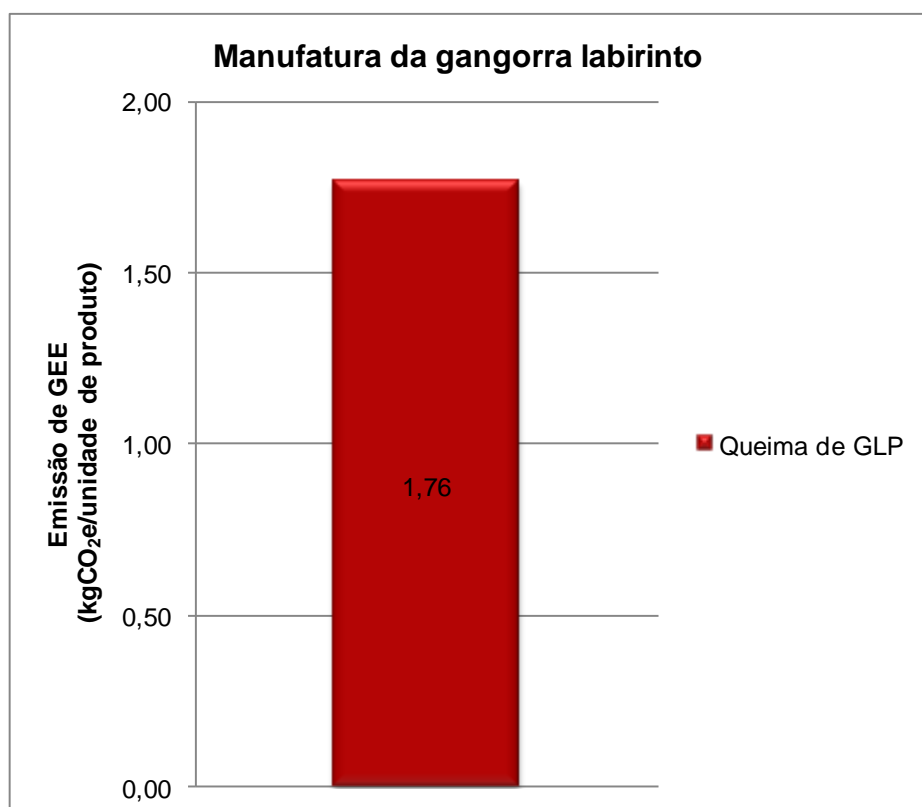


Figura 21 - Emissões de GEE da manufatura da gangorra-labirinto na Alpha Brinquedos

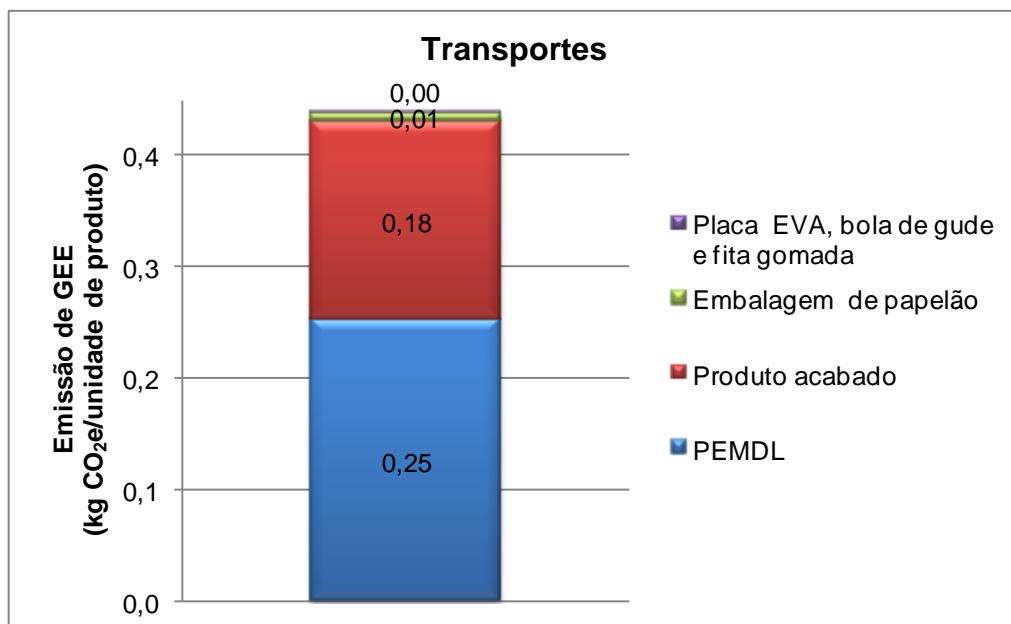


Figura 22 - Emissões de GEE relacionadas ao transporte no ciclo de vida da gangorra-labirinto

A Figura 23 apresenta a contribuição de emissão de metano do tratamento de resíduos sólidos, referente ao descarte da embalagem de papelão.

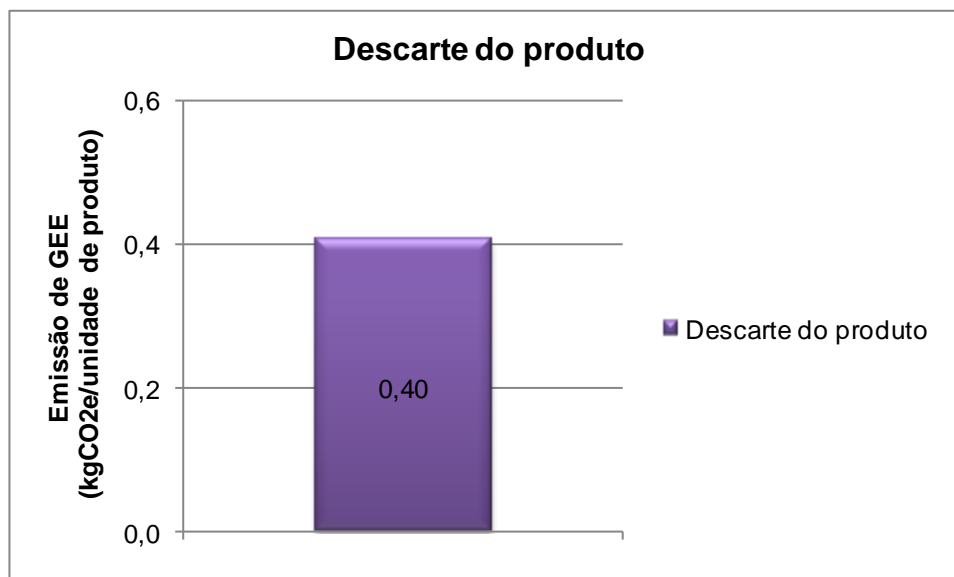


Figura 23 - Emissões de GEE relacionadas ao descarte do produto

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho de dissertação conseguiu atingir o objetivo de estimar a pegada de carbono do produto gangorra labirinto, utilizando uma metodologia com abordagem do ciclo de vida, a PAS 2050, que resultou na emissão de 3,51 kg de CO₂e, com uso de dados reais da sua cadeia produtiva.

Os resultados mostraram que as emissões mais significativas do ciclo de vida da gangorra-labirinto provém do ciclo produtivo da resina de polietileno, da extração das matérias-primas até sua manufatura, com 51,0% do total das emissões, para um item que representa 80% do peso do produto. O segundo item com emissão mais significativa é a manufatura do produto na Alpha Brinquedos, com emissão percentual de 33%, seguido dos transportes, com 8,3%, e o descarte do produto, com 7,6%. Com estes dados, é possível identificar oportunidades de redução das emissões de GEE em toda a cadeia produtiva.

Além da dificuldade inicial de identificação de uma empresa disposta a fornecer dados para este trabalho, foram encontradas algumas limitações durante a sua realização. A mais relevante deve-se à falta de um banco de dados de fatores de emissão de matérias-primas básicas produzidas no Brasil. Foi necessário recorrer-se ao uso de dados internacionais, nem sempre próximos da realidade brasileira, que trouxeram alguma distorção aos resultados, mas que por outro lado, foram úteis para a obtenção do objetivo deste trabalho.

Por motivos de prazo, não foi possível efetuar a avaliação das incertezas. Porém, este assunto poderá ser objeto de estudo em eventual trabalho de continuidade.

Identificou-se como a oportunidade mais relevante de aprimoramento deste estudo, a construção de uma base de dados de fatores de emissão de insumos produzidos no Brasil, principalmente as matérias-primas de base, como extração de petróleo e gás natural e seus derivados. Desta forma, será possível uma estimativa mais precisa e útil para o desenvolvimento de uma economia de baixo carbono, inclusive com a identificação das principais tecnologias emissoras de GEE e as oportunidades de otimização de processos.

REFERÊNCIAS

AMARAL, D. **Coopercaixa Cooperativa Paulista de Caixas e Chapas de Papelão Ondulado**. São Paulo: dez 2009. Entrevista concedida por telefone a Fátima Pereira Pinto.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT **NBR ISO 14040** - Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida ciclo de vida – Princípios e estrutura*.Rio de Janeiro::2009. 21p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT **NBR ISO 14044** - Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida ciclo de vida - Requisitos e orientações .Rio de Janeiro::2009. 46p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS -ABNT **NBR ISO 14064 – Gases de Efeito Estufa – Parte 1**-Especificação e orientação a organizações para quantificação e elaboração de relatórios de emissões e remoções de gases de efeito estufa*.Rio de Janeiro::2007.

BARRET,J; VALLACK, A; JONES, A.; HAQ G.. **A Material Flow Analysis and Ecological Footprint of York: Technical Report**. Stockholm Environment Institute. Sweden:2002.

BBC NEWS.**What's the carbon footprint of a potato?** UK: 19 Sep. 2007. Disponível em: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/magazine/7002450.stm>. Acesso em : 28 Mai 2008.

BM&FBOVESPA; BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONOMICO E SOCIAL – BNDES. **Desenvolvimento do Índice Carbono Eficiente**. São Paulo: 10 Fev. 2010.

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. **PAS 2050:2008- Guide to PAS 2050: How to assess the carbon footprint of goods and service**. London: 29 Oct. 2008 (a).

BRITISH STANDARDS INSTITUTION – BSI. **PAS 2050:2008- Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services**. London: 29 Oct. 2008 (b).

CARBON DISCLOSURE PROJECT-CDP. **Carbon Disclosure Project** : Supply Chain Report. London: 2009. 64 p. Disponível em: <https://www.cdproject.net/CDPResults/65_329_201_CDP-Supply-Chain-Report_2009.pdf>. Acesso em: 28 out. 2009. (b)

CARBON TRUST. **Carbon Footprint Measurement Methodology**. UK: [entre 2003 e 2006] Disponível em: <
http://www.carbontrust.co.uk/SiteCollectionDocuments/Various/Methodology_summary.pdf> . Acesso em: 4 Aug.2009

CARBON TRUST. **Carbon footprints in the supply chain: the next step for business**. UK: Nov. 2006. Disponível em: <
<http://www.carbontrust.co.uk/Publications/pages/publicationdetail.aspx?id=CTC616>> . Acesso em 25 ago. 2009.

CLIMATE LABELLING FOR FOOD. **Project Description for the Project Standards form Climate Marking of Foods: version Nr.2.3**. Estocolmo: 2009. Disponível em: <http://www.klimatmarkningen.se>>. Acesso em: 28 Ago. 2009.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENT FOOD AND RURAL AFFAIRS – 2008 **Guidelines to Defra’s GHG Conversion Factors**: Methodology paper for transport emission factors. UK: Jul. 2008.

DEPARTMENT FOR ENVIRONMENTAL, FOOD AND RURAL AFFAIRS –Defra. **Act on CO2 Calculator**: Data, Methodology and Assumptions Paper. V.1.2 . UK: Aug. 2008.

DOW JONES SUSTAINABILITY INDEX- DJSI. Disponível em: <<http://www.sustainability-index.com/>>. Acesso em: 03 Jan. 2010.

EDINBURGH CENTRE FOR CARBON MANAGEMENT- ECCM; CARBONFUND FOUNDATION. **Carbon Footprint Protocol**. EUA: 6 Jul, 2007.

ENERGETICS CORPORATION. **Propane Reduces Greenhouse Gas Emissions: A Comparative Analysis**. Washington: 2007

EUROPEAN UNION. **Making Sustainable Consumption and production a reality**. 2010.

FERRARI, D. **Ico Polymers**. Entrevistas concedidas a Fátima Pereira Pinto por telefone. Dez 2009.

FRANKLIN ASSOCIATES. **Cradle-to-gate life cycle inventory of nine plastic resins and two polyurethane precursors-** revised final report. Kansas: Dec. 2007.

GHG PROTOCOL. **GHG Protocol's Product and Supply Chain Initiative launches in Washington, DC and London.** Geneve: 2009. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/ghg-protocols-product-and-supply-chain-initiative-launched-in-washington-dc-and-london>> Acesso em: 29 ago. 2009.

GLOBAL 500 REPORT. 185 p. London: 2009. Disponível em: <https://cdproject.net/CDPResults/CDP_2009_Global_500_Report_with_Industry_Snapshots.pdf> . Acesso em: 25 ago. 2009. (a)

GLOBAL FOOTPRINT NETWORK. **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em: <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/footprint_basics_overview/>. Acesso em: 16 Mai 2009.

HERBERT,I. **Carbon footprint of products to be displayed on label package.** 16 Mar.2007. Disponível em: <http://www.independent.co.uk/environment/climate-change/carbon-footprint-of-products-to-be-displayed-on-label-package-440447.html>. Acesso em: 25 Mai. 2009.

INK WORLD. **Ink Companies are Being Called Upon To Help Drive Toward Carbon Labeling.** Apr. 2007. Disponível em: <<http://www.inkworldmagazine.com/articles/2007/04/ink-companies-are-being-called-upon-to-help-drive-.php>>. Acesso em: 27 Jul. 2009.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – **IPCC Guidelines Greenhouse Gas Inventories.** V.1: p.1.6. Japan: 2006 (a)

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – **IPCC Guidelines Greenhouse Gas Inventories.** Chapter 3- Energy. Japão: 2006 (b)

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2007: Synthesis Report** - Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva: 2007

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE- IPCC 2000- Good Practice Guidance and Uncertain Management in National Greenhouse Gas Inventories, chapter 5. Japan:2000.

KEA 3 LIMITED (KEA). **REDD and the effort to limit global warming to 2°C: Implications for including REDD credits in the international carbon market.** New Zealand: 30 Mar.2009. Disponível em: www.kea3.com/reddmodelling>. Acesso em: 15 out. 2009.

KOREA ENVIRONMENTAL INDUSTRY & TECHNOLOGY INSTITUTE-KEITI. Korea LCI Database Information Network. **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em: <<http://www.edp.or.kr/lcidb/english/co2db/co2db01.asp>>. Acesso em: 3 dez. 2009.

LEITE, N.B. **Nilbatlei Indústria e Comércio de Embalagens Ltda.** Entrevista concedida a Fátima Pereira Pinto. São Paulo: 27 out. 2009.

LOCOG. **Guidelines on Carbon Emissions of Products and Services** – Version 1 London..Disponível em: <<http://www.london2012.com/documents/locog-publications/locog-guidelines-on-carbon-emissions-of-products-and-services.pdf>> Acesso em: 9 Dec. 2009.

LYRA, M.G.;GOMES, R.C. **Análise de stakeholders:** uma revisão teórica. Universidade do Espírito Santo e Universidade de Viçosa. Disponível em: <<http://www.congresso.globalforum.com.br/arquivo/2008/artigos/E2008_T00111_PCN_17200.pdf>> Acesso em: 23 fev. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – **Balço Energético Nacional BEN2007,** Empresa de pesquisa Energética – EPE. Brasília: 2007.

NATIONAL ENERGY TECHNOLOGY LABORATORY – NETL. **Consideraton of Crude Oil Source in Evaluating Transportation Fuel GHG Emissions.** EUA: Mar 20, 2009.

ÖKO-INSTITUT e.V. et all. **Requirements on Consumer Information about Product Carbon Footprint.** Brussels: 26 Feb. 2010.

PCF PILOT PROJECT GERMANY. **Product Carbon Footprinting** – The Right Way to Promote Low Carbon.Products and Consumption Habits? Germany: 30 Apr. 2009. Disponível em: http://www.pcf-projekt.de/files/1241103260/lessons-learned_2009.pdf Acesso em: 29 jun. 2009.

PCF PILOTO PROJECT GERMANY. **ISO 14067** - Carbon Footprint of Products. Germany: 2010. Disponível em: < <http://www.pcf-world-forum.org/partner/iso-14067-carbon-footprint-of-products/>> . Acesso em: 7 jan. 2010.

PLASTICS EUROPE. **Eco-profiles of the European Plastics Industry: HDPE bottles.** Brussels: Mar. 2005.

PLASTICS EUROPE. **Eco-profiles of the European Plastics Industry: LDPE bottles.** Brussels: Mar 2005.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO-PNUD; MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA –MCT; COMPANHIA ESTADUAL DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL-CETESB. **Relatório de Referência do setor de tratamento de resíduos e efluentes.** São Paulo: 2007.

PRUETT, R.J. . The carbon footprint and lifecycle analysis of kaolin and calcium carbonate pigments in paper. **Minerals & Metallurgical Processing. *Littleton***, v.27, n.1, Feb. 2010.

RENEWABLE ENERGY SOURCES. **Consulta geral a homepage oficial.** Disponível em: <http://www.renewable-energy-sources.com/2008/09/11/what-does-the-term-carbon-footprint-means/>. Acesso em 05 jun 2009.

SEFAPI. **Compostos em EVA para injeção.** Disponível em: <http://www.sefapi.com.br/site_antigo/public_html/site/index.asp?secao=6&categoria=16&subcategoria=0&id=101>. Acesso em: 15 out. 2009.

SMITH,P. PAS 2050 - **Carbon Footprinting of Products Interview.** Entrevista concedida a Alex Briggs, London, 20th Nov 2008. Disponível em: <http://businessassurance.com/downloads/2008/11/final_transcript_paul_smith_interview_pas-2050.pdf>. Acesso em 9 Mai 2009.

SOUZA, G.I. ALPHA BRINQUEDOS LTDA. Entrevista concedida a Fátima Pereira Pinto. Guarulhos: 27 out. 2009.

SRI CONSULTING. **Polyethylene`s Carbon Footprint Varies Dramatically.** EUA: 23 th. Jul. 2009. Disponível em: <<http://www.reuters.com/article/pressRelease/idUS97410+23-Jul-2009+BW20090723>> Acesso em 25 Out. 2009.

SRI CONSULTING. **Process Economics Program Report- PEP Report 155 A.** US: 2007.

THE CARBON TRUST. **Carbon footprints in the supply chain: the next step for business..** UK: Nov. 2006.

THE GUARDIAN. **Tesco labels will show product's carbon footprints.** UK: 16 Ap.2008. Disponível em: <http://www.guardian.co.uk/environment/2008/apr/16/carbonfootprints.tesco>>. Acesso em: 30 jun. 2009.

US ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION- EIA. **Appendix F. Electricity Emission Factors-** Form EIA-1605. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/pdf/Appendix%20F_r071023.pdf> Acesso em: 12 nov. 2009. EUA: 2007

WORLD RESOURCES INSTITUTE- WRI. **Working 9 to 5 on Climate Change:** an Office Guide. EUA:2002

WORLD RESOURCES INSTITUTE -WRI; WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT-WBCSD. **The Greenhouse Gas Protocol -GHG Protocol** : A Corporate Accounting and Reporting Standard. EUA: 2004.

WORLD RESOURCES INSTITUTE -WRI; WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT-WBCSD. Disponível em: <http://www.ghgprotocol.org/standards/product-and-supply-chain-standard>>. Acesso em: set. 2009.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

AZEVEDO, J. B. et al. Propriedades físicas e mecânicas de espumas de EVA/EPDM. REVISTA ELETRÔNICA DE MATERIAIS E PROCESSOS, v.4.1, p.38-44, 2009. Disponível em: <www.dema.ufcg.edu.br/revista>. Acesso em: 16 out. 2009

IMERYS. **Methodology for calculating Carbon Footprint**. Disponível em: http://www.imerys-paper.com/pdf/Imerys_Carbon_Footprint_methodology_2009.pdf. Acesso em: 15 dez. 2009.

THE CENTRE FOR WATER AND WASTE TECHNOLOGY; SCION; AGRESEARCH. **Carbon footprint measurement**: methodology report. University of NSW. 12th Jan. 2009.

BENGTSSON, S.; HEIMERSSON, S. **Carbon Footprint of Printed Matter**: Development of a Carbon Footprint Calculator for Elanderss Sverige AB. 2009. 158 p. *Master of Science Thesis* - Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Göteborg, 2009. Disponível em: < >. Acesso em:

ALCALA, G. **Implementation of Product Carbon Footprint Methodology in the chemical industry**: A case study for BIM Kemi AB. 2009. 100 p. *Master of Science Thesis* - Department of Energy and Environment, Chalmers University of Technology, Göteborg, 2009. Disponível em: < >. Acesso em:

GLOSSÁRIO

Análise de Incerteza- procedimento sistemático para quantificar a incerteza introduzida nos resultados de uma análise de inventário do ciclo de vida, pelos efeitos cumulativos da imprecisão dos modelos, incerteza das entradas e variabilidade dos dados [ISO 14044].

Biogênico – derivado de biomassa, não fossilizado e nem proveniente de material fóssil. Segundo o IPCC (2006,a), a emissão de CO₂ proveniente de fonte biogênica é considerada zero [PAS 2050, IPCC 2006a].

Biomassa- material de origem biológica, excluindo material incorporado em formações geológicas ou transformados em fontes fósseis. [PAS 2050]

Business to consumer (B2C)– fornecimento de insumos ou produtos para o consumidor final [PAS 2050].

Business-to-business (B2B)– fornecimento de insumos ou produtos, para outra parte que não é o consumidor final [PAS 2050:2008].

Ciclo de vida- estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final, inclusive de qualquer atividade de reciclagem ou recuperação.[PAS 2050- adaptado da ISO14.040]

CO₂e – unidade comparativa da força radiativa de um gás de efeito estufa para dióxido de carbono [PAS 2050].

Coproduto – qualquer um entre dois ou mais produtos procedentes do mesmo processo elementar ou sistema de produto. [ISO 14044].

Dado primário – medição quantitativa da atividade de um ciclo de vida de produto que, quando multiplicado por um fator de emissão determina as emissões de GEE geradas no processo [PAS 2050].

Dado secundário – dado obtido a partir de outras fontes que não foram medidas diretamente do processo incluídos no ciclo de vida do produto [PAS 2050]. As fontes de emissão de GEE obtidas na literatura são exemplos de dado secundário.

Emissões a jusante- emissões de GEE associadas a processos que ocorrem no ciclo de vida de um produto, subsequente ao processo que é de propriedade ou

controlado pela empresas que está implementando a pegada de carbono [PAS 2050].

Emissões a montante- emissões de GEE associadas com processos que ocorrem no ciclo de vida de um produto, antes do processo da empresa que está implementando a pegada de carbono [PAS 2050].

Entrada – fluxo de produto, material ou energia que ocorre entre processos elementares do sistema de produto em estudo [ISO 14044].

Fator de emissão – quantidade de GEE emitida, expressa como quantidade (massa) do respectivo GEE por unidade da atividade [PAS 2050].

Fluxo de produto – entrada ou saída de produtos provenientes de ou com destino a um outro sistema de produto [ISO 14044].

Fronteira do Sistema- conjunto de critérios que especificam quais processos elementares fazem parte de um sistema de produto [ISO 14044].

Gases de Efeito Estufa (GEEs) – gases constituintes da atmosfera, que podem ser de origem natural ou antropogênica, que absorve e emite radiação de específico comprimento de onda, dentro do espectro da radiação infravermelha emitida da superfície da terra, da atmosfera, e das nuvens.

GWP- *Global Warming Potential* – fator que descreve o impacto da força radiativa de uma unidade de massa de um gas de efeito estufa relativo a uma unidade equivalente de dióxido de carbono durante um determinado período de tempo. [ISO 14064-1].

Processo – conjunto de atividades inter-relacionadas ou interativas que transformam entradas em saídas [ISO 14044].

Produto- qualquer bem ou serviço [PAS 2050:2008].

Saída- fluxo de produto, material ou energia, que deixa um processo elementar [ISO 14044].

Unidade funcional - desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como uma unidade de referência [ISO 14044].

Apêndice A: Estimativa dos fatores de emissão de combustíveis fósseis ao longo do ciclo de vida a partir de referências internacionais

A quantificação das emissões de GEE que resultam da queima de combustíveis em equipamentos estacionários ou nos transportes, é efetuada, considerando a soma de duas parcelas distintas do ciclo de vida dos combustíveis que são:

- a) extração do petróleo, refino e distribuição do combustível (em inglês denominado de *well-to-tank*, ou seja, do poço-ao-tanque de combustível);
- b) combustão : queima do combustível em combustão estacionária e móvel.

O resumo abaixo descreve como foram estimados os fatores de emissão médios da cadeia produtiva dos combustíveis diesel e GLP, utilizados neste trabalho de dissertação, tanto em equipamentos estacionários quanto no transporte.

a) Fator de emissão da extração, refino e distribuição (well-to-tank)

Na falta de dados de fatores de emissão de GEE relativos à cadeia produtiva do óleo diesel e do GLP dentro da realidade brasileira, utilizaram-se informações das referências americanas Energetics Corporation (2007) e NETL (2009)

O estudo realizado pela Energetics Corporation (2007) refere-se às emissões da cadeia produtiva de alguns combustíveis, considerando a soma de todas as emissões resultantes da extração, processamento e transporte do combustível desde sua fonte original até o ponto de distribuição para o usuário final. Estas emissões foram quantificadas de acordo com o GREET Model que é usado para estimar as parcelas à jusante (em inglês: *upstream*) de emissões de GEE do ciclo de vida de cada combustível analisado. Ele inclui os 3 GEEs: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) . Os dados foram obtidos na *Table 3.1. Upstream emissions factors (grams per million Btu)*.

A National Energy Technology Laboratory (NETL,2009) estimou as emissões de GEE do ciclo de vida de combustíveis obtidos a partir do petróleo consumidos nos Estados Unidos no ano 2005. Estas emissões estão associadas com as

atividades de produção do combustível desde a extração do petróleo até o abastecimento do veículo, considerando os gases dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O). Os dados utilizados, nesta dissertação, apenas para o óleo diesel, foram obtidos na pag.2: “*Exhibit 2. Baseline Well-to-Wheels/Wake Life Cycle Greenhouse Gas Emissions for Petroleum Transportation Fuels Sold or Distributed in the U.S. in the Year 2005 (kg $\text{CO}_2\text{E/MMBtu LHV}$)*”

Óleo Diesel

Como os dados fornecidos pela Energetics Corporation (2007) e pela NETL (2009) estão consistentes por considerarem os mesmos GEEs e usarem a mesma abordagem de ciclo de vida, calculou-se a média aritmética destes fatores de emissão para obter o fator médio de emissão médio da extração, refino e distribuição do óleo diesel, com o resultado aplicado nesta dissertação, mostrado na Tabela 25 de 0,63 $\text{kgCO}_2\text{e/litro}$ de óleo diesel.

GLP

A única referência que fornece dados das emissões relativas à extração, refino e distribuição do GLP é a Energetics Association (2007). Portanto, o fator médio de emissão do GLP utilizado, nesta dissertação, foi obtido, nesta referência, com a adição de 1% relativo aos gases CH_4 e N_2O , que apresentou o resultado de 0,52 $\text{kgCO}_2\text{e/kg}$ de GLP, conforme mostrado na Tabela 36.

Fator de emissão da combustão no equipamento ou veículo

A estimativa dos valores médios de emissão relativa à combustão usados nesta dissertação e apresentados na Tabela 36, foram obtidos com a média de 3 fatores de emissão buscados nas seguintes fontes:

- NETL(2009), pg.2: “*Exhibit 2. Baseline Well-to-Wheels/Wake Life Cycle Greenhouse Gas Emissions for Petroleum Transportation Fuels Sold or Distributed in the U.S. in the Year 2005 (kg $\text{CO}_2\text{E/MMBtu LHV}$)*”
- Energetics Corporation (2007), obtido da Table 2.2. Carbon dioxide released per Btu-pag.2. Devido ao fato de estes fatores de emissão considerarem

apenas o CO₂ e declarado na publicação que representa cerca de 99% das emissões, foi adicionado 1% sobre este valor, para incluir as emissões de CH₄ e N₂O, utilizando os GWPs de 25 e 298, respectivamente.

- IPCC (2006,b), Table 3.2 . com o uso de dados de PCI de combustíveis nacionais, publicados no BEN2008.

Fator médio de emissão dos combustíveis

Os fatores de emissão médios dos combustíveis que foram utilizados nesta dissertação, foram estimados a partir da soma das duas etapas do ciclo de vida, conforme mostrado na Tabela 26.

Tabela 26 - Fator médio de emissão de GEE dos combustíveis utilizados neste trabalho

Combustível	Extração, refino e transporte	Combustão	Fator de Emissão Médio (do ciclo de vida)	Unidade	Fonte
Diesel	0,63	2,68	3,31	(kg CO ₂ e /litro)	NETL, Energetics Corporation e IPCC 2006/BEN2008
GLP	0,52	3,01	3,53	(kg CO ₂ e /kg)	Energetics Corporation e IPCC 2006/BEN2008

Fonte: a autora

Nota: Por simplificação e conservadorismo, adotou-se neste estudo que o óleo diesel é constituído por 100% diesel de origem fóssil. Esta decisão se deve ao fato de que embora no ano 2009, por determinação da Agência Nacional do Petróleo (ANP), o óleo diesel distribuído no território brasileiro continha 3% de biodiesel no primeiro semestre e no segundo semestre aumentou para 4%, sabe-se que nem todos os municípios do Brasil efetivaram esta mistura de biodiesel.

Anexo A – Lista de Potencial de Aquecimento Global

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
Carbon dioxide	CO ₂	1
Methane ^c	CH ₄	25
Nitrous oxide	N ₂ O	298

Industrial designation or common name	Chemical formula	GWP for 100-year time horizon (at date of publication)
<i>Hydrofluorocarbons</i>		
HFC-23	CHF ₃	14,800
HFC-32	CH ₂ F ₂	675
HFC-125	CHF ₂ CF ₃	3,500
HFC-134a	CH ₂ FCF ₃	1,430
HFC-143a	CH ₃ CF ₃	4,470
HFC-152a	CH ₃ CHF ₂	124
HFC-227ea	CF ₃ CHF ₂ CF ₃	3,220
HFC-236fa	CF ₃ CH ₂ CF ₃	9,810
HFC-245fa	CHF ₂ CH ₂ CF ₃	1,030
HFC-365mfc	CH ₃ CF ₂ CH ₂ CF ₃	794
HFC-43-10mee	CF ₃ CHFCHFCF ₂ CF ₃	1,640

Fonte: PAS 2050 (2008b). Table A.1 Direct (except for CH₄) global warming potentials (GWP) relative to CO₂.