

ANA CAROLINA DUTRA

**IMPACTOS AMBIENTAIS DE UMA UNIDADE AGROPECUÁRIA
ESTIMADOS PELA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

Sorocaba
2018

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em

*ciências
ambientais*

ANA CAROLINA DUTRA

**IMPACTOS AMBIENTAIS DE UMA UNIDADE AGROPECUÁRIA
ESTIMADOS PELA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Gerson Araújo de Medeiros

Coorientador: Prof. Dr. Bruno Fernando Gianelli

Sorocaba

2018

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca da Unesp Instituto de Ciência e Tecnologia – Câmpus de Sorocaba

Dutra, Ana Carolina.

Impactos ambientais de uma unidade agropecuária estimados pela avaliação do ciclo de vida / Ana Carolina Dutra, 2018.
122 f.: il.

Orientador: Gerson Araújo de Medeiros.

Coorientador: Bruno Fernando Gianelli.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba), 2018.

1. Sistema de gestão ambiental. 2. Reprodução animal. 3. Animais - Conservação. 4. Educação ambiental. I. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Instituto de Ciência e Tecnologia (Câmpus de Sorocaba). II. Título.

Bibliotecário responsável: Bruna Bacalini – CRB 8/8855



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Impactos ambientais de uma unidade agropecuária estimados pela avaliação do ciclo de vida

AUTORA: ANA CAROLINA DUTRA

ORIENTADOR: GERSON ARAÚJO DE MEDEIROS

COORIENTADOR: BRUNO FERNANDO GIANELLI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIAS AMBIENTAIS, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. GERSON ARAÚJO DE MEDEIROS
Engenharia Ambiental / UNESP - ICT Sorocaba

Prof. Dr. DARLLAN COLLINS DA CUNHA E SILVA
Coordenadoria do Curso de Engenharia Ambiental / Universidade de Sorocaba (UNISO)

Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI
Engenharia Ambiental / Instituto de Ciência e Tecnologia/UNESP/Sorocaba

Sorocaba, 27 de março de 2018

Aos meus pais Maria Cristina e Francisco (ambos *in memoriam*) e minha irmã
Ana Cláudia.

AGRADECIMENTOS

À Unesp Sorocaba, que me proporcionou cinco bons anos de graduação e que me fizeram voltar para o mestrado. Obrigada a todos os professores.

Ao professor Gerson, que acreditou em meu trabalho e me deu uma orientação cheia de dedicação, contribuindo para meu crescimento acadêmico e profissional, ensinando-me e transmitindo seus conhecimentos nas áreas de Ciências Ambientais e Gestão Ambiental.

Ao professor Bruno, pela coorientação e dedicação, contribuindo para meus conhecimentos na área de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) e desenvolvimento desse trabalho.

Ao Michel, doutor em Ciências Ambientais, que esteve desde o início me ajudando, ensinando-me sobre ACV e sempre atencioso em tirar minhas dúvidas.

Aos professores Dr. Alexandre Marco da Silva, Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva e Dr. Sandro Donnini Mancini, por terem participado das bancas de qualificação e defesa, com sugestões e apontamentos para a melhoria desse trabalho.

À Fundação Parque Zoológico de São Paulo por propiciar o desenvolvimento desse trabalho em uma de suas instalações, a Divisão de Produção Rural (DPR), tornando possível a aquisição de dados e informações.

A todos os funcionários da DPR, pois de alguma forma contribuíram para a aquisição de dados e realização desse trabalho, em especial os que trabalharam diretamente comigo durante dois anos. Ao engenheiro agrônomo Fernando, por ter tirado minhas dúvidas, explicado sobre o funcionamento da atividade de produção agrícola e ajuda na obtenção de dados. À bióloga Laura, por ter contribuído com seu conhecimento e informações a respeito do Centro de Conservação de Fauna Silvestre – CECFAU. Ao chefe de divisão Ms. Sérgio Saliba e chefe de setor Ms. Tiago Petri que permitiram a ausência do trabalho durante alguns dias para aulas e reuniões, sempre me ajudando no entendimento do funcionamento da unidade e na aquisição de dados, permitindo

que a conciliação do mestrado acadêmico e aprimoramento profissional na unidade ocorresse e sempre acreditando em meu potencial.

A todos os amigos e família que sempre estiveram por perto e me ajudaram a acreditar ser possível o desenvolvimento e conclusão desse trabalho, em especial, minha avó Terezinha, cunhado Rodrigo e minha irmã Ana Cláudia, que sempre acreditou e me incentivava em tudo.

RESUMO

Com o passar dos anos, o desenvolvimento tecnológico e científico vem evoluindo rapidamente, levando a um aumento de consumo de matéria, recursos naturais e energia, além da geração de resíduos, emissões atmosféricas e efluentes. Dessa forma, políticas públicas e normas foram criadas para evitar, diminuir e mitigar impactos ambientais negativos resultantes de atividades antropogênicas. Nesse contexto, emergiu o pensamento do ciclo de vida, em que são analisados todos os impactos ambientais gerados por um processo ou produto desde a extração da matéria-prima até a disposição final. Como consequência, têm-se a ferramenta de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), a qual pode ser aplicada a inúmeros processos. Dessa forma, esse trabalho objetivou estimar os potenciais impactos ambientais gerados em uma unidade agropecuária multifuncional sob a perspectiva de ciclo de vida e a construção de um inventário de ciclo de vida (ICV) a partir dos aspectos ambientais pertinentes à unidade em estudo. A pesquisa foi desenvolvida na Divisão de Produção Rural (DPR) da Fundação Parque Zoológico de São Paulo, em Araçoiaba da Serra, a partir de sua divisão em subsistemas de acordo com as funções desempenhadas. Utilizou-se o software *SimaPro* para a inserção do ICV, o qual possui bases de dados contendo diversos aspectos ambientais, para a construção do ciclo de vida e cálculo dos potenciais impactos ambientais pelo método Eco-Indicator 99(H). Dentre as atividades desenvolvidas (educação ambiental, conservação e reprodução animal, produção agrícola e atividades de cunho administrativos), teve-se que os impactos ambientais da produção agrícola representaram 65,2% dos impactos globais da unidade no ano de 2016, sendo a maior parte influenciada pelo transporte semanal de produtos agrícolas. Destacam-se ainda os impactos ambientais decorrentes do cenário de destino final de todas as atividades, correspondendo ao deslocamento de resíduos não reciclados, principalmente resíduo orgânico e embalagens do tipo isopor, somando 53% dos impactos globais e fazendo com que a categoria de impacto ambiental mais influenciada fosse a de consumo de combustíveis fósseis. Estimando-se um cenário de melhoria, encontra-se na compostagem de resíduos orgânicos a chance de diminuição de cerca de 10,3% dos impactos ambientais existentes em relação ao cenário original.

Palavras-chave: Inventário de ciclo de vida. Sistema de Gestão Ambiental. Conservação e reprodução animal. Educação Ambiental. Zoológico.

ABSTRACT

Over the years, technological and scientific development has evolved rapidly, leading to an increase in the consumption of matter, natural resources and energy, as well as the generation of waste, atmospheric emissions and effluents. In this way, public policies and norms were created to avoid, decrease and mitigate negative environmental impacts resulting from anthropogenic activities. In this context, life cycle thinking has emerged, in which all the environmental impacts generated by a process or product, from extraction of the raw material to disposal of residuals, are analyzed. As a consequence, there is the Life Cycle Assessment (LCA), an environmental management tool applied to various processes. This work aimed to estimate the potential environmental impacts generated in a multifunctional agricultural unit under the life cycle perspective and the construction of a life cycle inventory (LCI) from relevant resources for the unit studied. This research was developed in the Division of Rural Production (DRP) of the São Paulo Zoo Foundation, in Araçoiaba da Serra, dividing the unit in subsystems according to its functions. The *SimaPro* software, which has databases of different environmental aspects, was used to insert the LCI, the construction of the life cycle and the calculation of the potential environmental impacts by the Eco-Indicator 99(H) method. Among the activities carried out (environmental education, animal conservation and breeding, agricultural production and administrative activities), environmental impacts of agricultural production accounted for 65.2% of the total impacts of the unit in 2016, mostly influenced by the weekly transport of agricultural products. The environmental impacts from the disposal scenario of all activities are also highlighted, accounting for 53% of the global impacts and corresponding to the displacement of non-recycled waste, mainly organic waste and styrofoam packaging, implying consumption of fossil fuels the most influenced impact category. Estimating an improvement scenario, the organic decomposition of organic waste can decrease about 10.3% of environmental impacts in relation to the original scenario.

Key words: Life Cycle Inventory. Environmental Management System. Breeding Animal. Environmental Education. Zoo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas a serem consideradas em uma análise do ciclo de vida com suas entradas e saídas.....	25
Figura 2 - Fluxograma de entradas e saídas da Divisão de Produção Rural.	54
Figura 3- Ciclo de vida da atividade de Educação Ambiental.....	73
Figura 4- Ciclo de vida da atividade de Conservação e Reprodução Animal.	78
Figura 5 - Ciclo de vida das Atividades Administrativas.	83
Figura 6- Ciclo de vida da atividade de Produção Agrícola.	88
Figura 7- Ciclo de Vida da Divisão de Produção Rural (DPR) no ano de 2016.....	93
Figura 8 - Comparação gráfica entre o ciclo de vida das diferentes atividades da DPR e as categorias de impacto ambiental influenciadas no ano de 2016.	98
Figura 9 – Comparação gráfica entre os diferentes cenários de destino final das atividades da DPR e as categorias de impacto ambiental influenciadas no ano de 2016.	99
Figura 10 – Comparação gráfica entre as diferentes fases de operação das atividades da DPR e as categorias de impacto ambiental influenciadas no ano de 2016.....	100
Figura 11 – Avaliação do ciclo de vida da DPR com utilização de compostagem para os resíduos orgânicos.	106
Figura 12 - Representação gráfica das categorias de impactos ambientais do cenário original da DPR e o que projeta o uso de compostagem.	107

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Combinações e temporalidades adotadas na busca por trabalhos de conservação e reprodução de animais	45
Quadro 2 – Categorias de impactos e danos ambientais, escopo de aplicação e fatores de caracterização do método Eco-indicator 99(H)	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção agrícola da DPR no ano agrícola 2015-2016	43
Tabela 2- Inventário do ciclo de vida da educação ambiental em 2016	63
Tabela 3 - Inventário do ciclo de vida da conservação e reprodução animal em 2016	65
Tabela 4 – Inventário do ciclo de vida das atividades administrativas em 2016.....	68
Tabela 5 - Inventário do ciclo de vida da produção agrícola em 2016	70
Tabela 6 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida da atividade de Educação Ambiental e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos percentuais para o ano de 2016.....	76
Tabela 7 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida da atividade de Conservação e Reprodução Animal e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos percentuais para o ano de 2016	81
Tabela 8 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida das Atividades Administrativas e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos percentuais para o ano de 2016.....	86
Tabela 9 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida da Produção Agrícola e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos percentuais para o ano de 2016	91
Tabela 10 - Contribuição das quatro atividades ao ciclo de vida da Divisão de Produção Rural (DPR) e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos de pontuação no ano de 2016.....	96
Tabela 11 - Contribuição dos quatro subsistemas ao ciclo de vida da DPR e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos percentuais.....	97
Tabela 12 – Comparação da pontuação entre diferentes cenários para a DPR com o ciclo de vida construído para 2016.....	104

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

AA – Atividades Administrativas
ABNT NBR – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV – Análise do Ciclo de Vida
AICV – Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida
ALCA - Attributional Life Cycle Assessment
AZA – Association of Zoos and Aquariums
CECFAU – Centro de Conservação de Fauna Silvestre do Estado de São Paulo
CH – Czech Republic
CLCA - Consequential Life Cycle Assessment
CRA – Conservação e Reprodução Animal
DPR – Divisão de Produção Rural
DALY – *Disability Adjusted Life*
EA - Educação Ambiental
EAZA - European Association of Zoos and Aquaria
FAO – Food and Organization of the United Nations
FISPQ - Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico
FPZSP – Fundação Parque Zoológico de São Paulo
ISO – International Organization for Standardization
ICV – Inventário do Ciclo de Vida
INPEV - Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias
LED - Light Emitting Diode
LCT – Life Cycle Thinking
LCM – Life Cycle Management
ONU – Organização das Nações Unidas
PA - Produção Agrícola
PAF - Potentially Affected Fraction
PEV – Posto de Entrega Voluntária
PDF - Potentially Disappeared Fraction
REPA - Resources and Environmental Profile Analyses
RER – Europe
SETAC - Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SGA –Sistema de Gestão Ambiental

SZB – Sociedade de Zoológicos e Aquários do Brasil

UNEP – United Nations Environment Programme

UNESP – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

UPCO – Unidade de Produção de Composto Orgânico

WAZA - World Association of Zoos and Aquariums

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2 OBJETIVOS	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL EM PARQUES ZOOLOGICOS	19
3.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)	23
3.2.1 <i>Histórico da Avaliação do Ciclo de Vida</i>	26
3.2.2 <i>Padronização da Avaliação do Ciclo de Vida</i>	27
3.2.3 <i>Princípios e Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida</i>	28
3.2.4 <i>Tipos de Avaliação de Ciclo de Vida</i>	32
3.3 VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA	33
3.4 APLICAÇÕES DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	35
3.4.1 <i>Emprego da Avaliação do Ciclo de Vida na gestão de resíduos sólidos</i>	35
3.4.2 <i>Emprego da Avaliação do Ciclo de Vida na agricultura</i>	37
3.4.3 <i>Emprego da Análise do ciclo de vida na educação</i>	40
4 METODOLOGIA	42
4.1 ÁREA DE ESTUDO	42
4.2 REVISÃO DE LITERATURA	44
4.3 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS E ESCOPO DO ESTUDO NOS MOLDES DA NORMA ISO 14.040:2009 E ISO 14.044:2009	46
4.3.1 <i>Objetivo do estudo</i>	46
4.3.2 <i>Escopo do estudo</i>	46
4.4 OBTENÇÃO DE DADOS PARA A ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DAS PRINCIPAIS ATIVIDADES DESEMPENHADAS PELA UNIDADE	51
4.5 MODELAGEM DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)	53
4.5.1 <i>Educação Ambiental</i>	54
4.5.2 <i>Conservação e reprodução animal</i>	55
4.5.3 <i>Atividades Administrativas</i>	58
4.5.4 <i>Produção Agrícola</i>	59

4.6 PROJEÇÃO DE CENÁRIOS PARA A UNIDADE E DIRETRIZES DE GESTÃO A SEREM TOMADAS PARA DIMINUIÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS.....	61
5. RESULTADOS.....	62
5.1 INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV).....	62
5.1.1 <i>Educação Ambiental</i>	62
5.1.2 <i>Conservação e reprodução animal</i>	64
5.1.3 <i>Atividades Administrativas</i>	67
5.1.4 <i>Produção Agrícola</i>	69
5.2 AVALIAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DOS IMPACTOS DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (AICV).....	72
5.2.1 <i>Educação Ambiental</i>	72
5.2.2 <i>Conservação e Reprodução Animal</i>	77
5.2.3 <i>Atividades Administrativas</i>	82
5.2.4 <i>Produção Agrícola</i>	87
5.2.5 <i>Avaliação global dos impactos da Divisão de Produção Rural</i>	92
6. PROJEÇÃO DE CENÁRIOS PARA A DPR	101
7. CONCLUSÃO	108
REFERÊNCIAS.....	116
APÊNDICE.....	124

1. INTRODUÇÃO

A crise ambiental contemporânea apresenta reflexos como nas mudanças climáticas, que muitos julgam ser devido às atividades antrópicas, na poluição atmosférica, na depleção da camada de ozônio, na poluição hídrica e na redução da disponibilidade de recursos naturais. Esse cenário tem levado ao desenvolvimento de políticas públicas para garantir a qualidade ambiental e, conseqüentemente, a qualidade de vida.

A Organização das Nações Unidas - ONU divulgou um estudo de que a população mundial pode chegar a 8,5 bilhões em 2030 e 9,7 bilhões em 2050 (UN, 2015). Acompanhado desse aumento, estará aquele relacionado à disponibilidade de alimentos. Estudos indicam que até 2050 será preciso um aumento de 70-100% de alimentos, comparado ao ano de 2010, para suprir a demanda mundial (GODFRAY et al., 2010).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil - MAPA estima que um terço dos produtos agrícolas a serem comercializados mundialmente até o ano de 2030 serão provenientes de áreas brasileiras (MAPA, 2017).

De 1990 a 2013, a produção agrícola brasileira quase que duplicou e a pecuária triplicou. Em 2015, o Brasil era o segundo maior exportador agrícola e o maior fornecedor de açúcar, suco de laranja e café para exportação (OECD/FAO, 2015). Nesse contexto, o Brasil é um país de destaque nos cenários globais de produção e exportação agrícola, sendo o primeiro exportador de café, açúcar, etanol e suco de laranja (MAPA, 2017).

Com a evolução das tecnologias e ciências, novos produtos surgem em intervalos pequenos de tempo. O crescimento econômico leva ao consumismo, que está relacionado com a retirada de recursos naturais, geração de emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos, os quais são a causa de inúmeros impactos ambientais negativos, como a poluição, além daqueles que afetam a saúde humana (GLAUBITZ, 2011). Quanto maior a população e maior seu potencial de compra, maior a produção intensiva de bens materiais, podendo levar as fontes de origem à exaustão (BARBOSA; FRAXE, 2013). Nesse contexto, cresce a necessidade de produção racional, direcionada à sustentabilidade, utilização eficiente dos recursos e ao controle das saídas para o ambiente, a fim de que os aspectos econômicos não se sobreponham aos ambientais.

Todas as atividades antrópicas são geradoras de impactos ambientais, tanto positivos como negativos durante todo seu ciclo de vida, definido como as etapas que compreendem o desenvolvimento de produtos, obtenção de matéria-prima e insumo, processo produtivo, consumo e disposição final (BRASIL, 2010).

A avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta de gestão ambiental do grupo de normas ISO 14.000, elaboradas pela *International Organization for Standardization* – ISO, que trata da gestão ambiental (ISO, 2009). As normas de gestão, por sua vez, compreendem requisitos e orientações para a elaboração e aplicação de um sistema de gestão ambiental com o objetivo de reduzir os impactos ambientais negativos gerados, buscando a melhoria contínua (ISO, 2016).

Essa ferramenta pode ser aplicada a diversos sistemas, tanto para produtos como para processos, bem como para suportar a tomada de decisões, avaliação de projetos industriais, riscos devido ao uso de substâncias químicas e emissões de gases causadores do efeito estufa. Além disso, permite a comparação entre sistemas de produção agrícola, avaliando os potenciais impactos ambientais decorrentes das atividades necessárias a seu desenvolvimento, como uso de insumos agrícolas, e o tipo de impacto gerado (em mudanças climáticas, na camada de ozônio etc). As etapas pertencentes ao desenvolvimento de qualquer atividade também podem ser avaliadas do ponto de vista do ciclo de vida, identificando os impactos pertencentes a cada fase.

A integração da avaliação do ciclo de vida a um sistema de gestão ambiental poderá abrir caminhos para a desejada, e necessária, melhoria contínua, visto que é uma ferramenta que, apesar das incertezas, se mostra eficiente na comparação de diferentes destinos finais de resíduos e metodologias de gestão (EKVALL et al., 2007; HELLWEG; CANALS, 2014).

A Divisão de Produção Rural, DPR ou Fazenda do Zoo, é uma fazenda pertencente desde o ano de 1982 à Fundação Parque Zoológico de São Paulo (FPZSP) e que mantém um sistema de gestão ambiental com certificação ISO 14.001 desde o ano de 2006, assim como as demais unidades da Fundação (Parque Zoológico e Zoo Safári) (RIBEIRO et al., 2009; FPZSP, 2015). Destaca-se que foi a primeira unidade agrícola pertencente ao Estado de São Paulo a receber a referida certificação ambiental (ZOOLOGICO DE SÃO PAULO, 2016).

Inicialmente, sua função era a produção de alimentos a quase três mil animais do plantel da Fundação (FPZSP, 2017), mas na década de 1990 passou a receber os

primeiros animais para reprodução e nos anos 2000 consolidou as atividades de educação ambiental (FPZSP, 2013).

Essa unidade, devido às suas diversas atividades, gera alguns impactos ambientais, tanto negativos como positivos. Assim, esse estudo objetivou estimar os potenciais impactos ambientais produzidos pela Divisão de Produção Rural por meio da ferramenta Avaliação de Ciclo de Vida, como uma forma de propor diretrizes de gestão para o processo de melhoria contínua da ISO 14.001.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo objetivou estimar os potenciais impactos ambientais produzidos por uma unidade de produção agrícola multifuncional da Fundação Parque Zoológico de São Paulo por meio da ferramenta Avaliação do Ciclo de Vida para suportar a proposição de diretrizes de gestão.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar um inventário das principais atividades consumidoras de matéria e energia e processos de geração de impactos ambientais produzidos pela Divisão de Produção Rural;
- Analisar os impactos ambientais do inventário do ciclo de vida por meio da avaliação do ciclo de vida dos mesmos;
- Avaliar o sistema de gestão ambiental empregado na unidade e propor diretrizes para a redução dos impactos ambientais negativos a partir da elaboração de cenários.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Sistema de Gestão Ambiental em parques zoológicos

Um sistema de gestão ambiental é parte do sistema de gestão global dedicado a diminuir os aspectos e impactos ambientais negativos de uma organização,

umentando assim sua eficiência ambiental (EPA, 2016). Devido ao aumento da preocupação com a qualidade ambiental, exemplificado no Brasil pela Lei nº 6.938/81, Política Nacional de Meio Ambiente, cujo objetivo é preservar, melhorar e recuperar a qualidade ambiental (BRASIL, 1981), a questão ambiental tem sido cada vez mais abordada.

Para padronizar um sistema de gestão ambiental (SGA) na abrangência mundial, a *International Organization for Standardization* - ISO criou a série de normas ISO 14.000. Essas normas estabelecem diretrizes e requisitos para a promoção de uma gestão mais eficiente dos recursos visando à redução dos aspectos e impactos ambientais negativos (ISO, 2016).

A partir dos anos 1990, notou-se um aumento da adoção de sistemas de gestão ambiental por vários setores, sendo que sua flexibilidade permite ser aplicado a diversas atividades e organizações, públicas e privadas, que tenham como objetivo assegurar a sustentabilidade (MAZZI et al., 2016). Um exemplo é a adoção por parte de parques zoológicos.

O Brasil conta hoje com 106 parques zoológicos e 10 aquários, sendo a maioria localizada na região Sudeste (SZB, 2017). O Zoológico de São Paulo possui um sistema de gestão ambiental e foi o décimo do mundo a conquistar a certificação ISO 14.001, sendo o único do Brasil e da América Latina a possuí-la, retratando uma possibilidade de aplicação de um SGA.

Inicialmente, os parques zoológicos surgiram com a função de entretenimento, permitindo aos visitantes o contato com diversos tipos de animais. Atualmente, zoológicos de todo o mundo incorporam outros objetivos, como a conservação de espécies, inclusive aquelas ameaçadas de extinção (em ações *in situ* e *ex situ*) e ecossistemas, além do educacional (ASHMAWY, 2017).

A *World Association of Zoos and Aquariums* - WAZA é uma organização que reúne membros de zoológicos e aquários de todo o mundo com o objetivo de dar suporte ao desenvolvimento de ações voltadas ao cuidado animal, educação ambiental e conservação de animais (WAZA, 2017). Em 2005, lançou um guia com padrões e políticas a serem seguidos para que os membros atingissem seus objetivos de conservação, sendo que um capítulo foi dedicado à sustentabilidade (HERDER; STREITER, 2010). A *Association of Zoos and Aquariums* - AZA, publicou, em 2011, "*Introduction to Building Zoo & Aquarium Sustainability Plans*", um guia sobre a implementação de práticas sustentáveis nos zoológicos e aquários ao redor do mundo

(PENNING et al., 2009; AZA, 2013). Apesar da incorporação da dimensão ambiental nas preocupações dos zoológicos e aquários, nota-se que a maioria brasileira não dispõe de um SGA implementado como o paulistano, sendo feito o gerenciamento dos aspectos ambientais juntamente com os demais aspectos pertinentes à administração geral.

Herder e Streiter (2010) elaboraram um guia sobre como implementar a sustentabilidade em zoológicos e aquários, respondendo a pergunta: “Como membros da WAZA podem implementar/integrar a sustentabilidade de forma efetiva?”. Partindo de uma amostragem com cinco zoológicos europeus, constataram que a maioria já incorporava a sustentabilidade em seu gerenciamento. Para chegar às melhores opções a serem adotadas, dividiram uma organização em cinco temas: Energia e Construção, Resíduos, Água, Transporte e Compras. Dentre as ações mais eficientes em termos ambientais e econômicos, foram apontados: uso de energia solar, controladores de tempo em torneiras, sensores de ocupação para iluminação, reaproveitamento de água da chuva e utilização de produtos locais, diminuindo-se as demandas pelo transporte dos mesmos. Além disso, ponderaram os benefícios ambientais do uso de lâmpadas mais econômicas, uso de materiais biodegradáveis e compra de produtos com certificação ambiental.

Stern (2009) realizou um estudo sobre o sistema de gestão ambiental e educação ambiental no Zoológico dinamarquês de Aalborg, o primeiro do mundo a obter a certificação ISO 14.001, em 1998. A questão essencial para o desenvolvimento do estudo foi: como diminuir os impactos ambientais do zoológico por meio de ações educacionais relacionadas ao sistema de gestão ambiental existente?

O programa de educação desse zoológico segue os padrões da *European Association of Zoos and Aquaria* - EAZA, sendo realizado por meio de visitas e cursos no próprio local, tendo crianças como público alvo. A EAZA é uma organização existente desde 1992 composta por membros de zoológicos e aquários europeus e do Oriente Médio e que tem como missão facilitar a cooperação entre os membros, promovendo sua a qualidade e contribuição para a pesquisa científica e conservação de espécies (EAZA, 2017). Possui um comitê de educação que estimula o desenvolvimento de atividades a serem desenvolvidas pelos membros, inclusive com guias auxiliando o desenvolvimento de ações educacionais em conservação (EAZA, 2016).

A partir da certificação ambiental, o zoológico de Aalborg passou a enfatizar as questões ambientais em seu programa de educação. Também foram levantados os principais aspectos ambientais da unidade, como a elevada produção de resíduos, elevados consumos de eletricidade e água, os quais foram reduzidos ao longo dos anos, e uso de aquecimento. A conclusão de Stern (2009) foi de que em dez anos de certificação, o zoológico nunca falhou em suas ações, recebendo sempre as recertificações e que a educação é uma ferramenta importante da instituição, voltada para a criação da conscientização do visitante a respeito de espécies ameaçadas de extinção e proteção dos animais, promovendo uma mudança em suas ações.

As principais abordagens educacionais relatadas faziam uso dos animais presentes no plantel para que a partir de seu conhecimento, o visitante incorporasse o conceito de sustentabilidade e entendesse como poderia ser sua contribuição individual. Ou seja, relacionava os aspectos ambientais locais e os potenciais impactos na biodiversidade para o desenvolvimento de ações educacionais de sustentabilidade. O autor sugeriu que o departamento de educação incorporasse a questão da gestão ambiental fazendo uso de uma abordagem mais específica, como o uso racional dos recursos naturais e aquelas ações que os visitantes poderiam implementar em suas casas (STERN, 2009).

Turner (2009) publicou um artigo sobre a implementação de um sistema de gestão ambiental no zoológico de Paignton (*Paignton Zoo Environmental Park*), ponderando suas vantagens e desvantagens. Esse zoológico, com 35 hectares de área e localizado no Reino Unido, foi inaugurado em 1923, publicando sua política ambiental no ano de 1999. Em 2003 começou a estruturação de seu sistema de gestão ambiental e em 2005 obteve a certificação ISO 14.001. As vantagens ponderadas, como economia financeira, maior credibilidade para financiamentos e outros tipos de transações financeiras, cumprimento dos requisitos legais, redução dos riscos ambientais e uma maior visibilidade (tornando-se um exemplo pelas preocupações e cuidados ambientais) sobrepuseram-se às desvantagens apontadas, representadas pelos diversos tipos de gastos, como com a implementação e manutenção do sistema de gestão, mudanças de processos, capacitação de funcionários, investimentos em equipamentos de controle ambiental e em melhoria contínua.

Augusto (2016) analisou a gestão de resíduos sólidos de 55 zoológicos brasileiros, geradores de grande quantidade de resíduos e que corresponderam a

45% de todas as instituições brasileiras desse tipo, sendo 71% de gestão pública. Dentro de sua pesquisa, observou que os resíduos de saúde foram geridos de maneira correta por quase todos os entrevistados (94%), com recolhimento por empresa especializada e seguindo a legislação vigente. Já os resíduos de atividades administrativas, como papel e plástico, foram enviados para a reciclagem por apenas 9 zoológicos (17%), sendo o restante enviado à coleta municipal, sem ações para reutilização e/ou reciclagem. Quanto a restos de varrição e de alimentação animal, a compostagem foi a alternativa empregada por 54% e 35%, respectivamente. Porém, em relação ao resto de alimento humano, apenas 25% (ou 13 instituições) realizaram a compostagem, sendo o restante enviado para o aterro sanitário. O autor teve como resultado que a tendência seguida pelas instituições foi o envio de resíduos ao recolhimento municipal sem prévia segregação e com conseqüente envio ao aterro sanitário, devendo-se existir incentivo a ações de separação de resíduos, com posterior envio a coleta seletiva e compostagem da fração orgânica.

Ainda, o referido autor elaborou um índice de impacto ambiental em relação à gestão de resíduos sólidos gerados pelas instituições analisadas. Para cada tipo de resíduo, atribuiu pesos às práticas adotadas e como resultado obteve três classificações de impactos: alta, média e baixa. Como resultado, 63,5% das instituições se enquadraram no índice médio de impacto ambiental, sugerindo que necessitavam de adequações em relação às ações adotadas para a gestão de resíduos (AUGUSTO, 2016).

3.2 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

Todos os produtos e serviços possuem impactos ambientais ao longo de seu ciclo de vida, o qual é definido como todas as etapas que compreendem o desenvolvimento de produtos, obtenção de matéria-prima e insumo, processo produtivo, consumo e disposição final, incluindo as atividades de transporte (BRASIL, 2010). Para analisar a magnitude desses impactos e inferir até que ponto os mesmos são relevantes, faz-se necessária uma abordagem que considere todas as etapas constituintes de seu ciclo (HELLWEG; CANALS, 2014). Nesse contexto, surgiu a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), definida como a análise das entradas, saídas e os impactos ambientais potenciais de um produto ou processo gerados desde a obtenção de matéria-prima até sua disposição final (ABNT, 2009a).

A ACV é uma ferramenta de gestão ambiental utilizada para o entendimento dos potenciais impactos ambientais gerados e acumulados ao longo das etapas de manufatura de um produto ou processo.

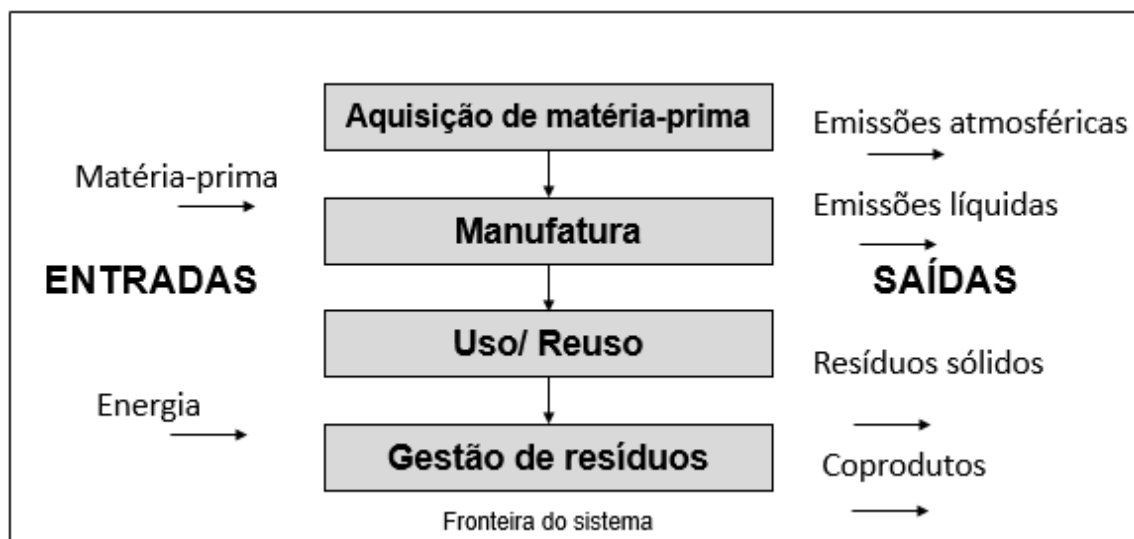
Os resultados de um estudo de ACV são baseados em representações dos impactos reais, estando, dessa forma, associados a incertezas, as quais não podem ser excluídas do estudo, devendo ser entendidas e consideradas na interpretação final dos resultados. Tais incertezas podem ser agrupadas em três categorias (GULDBRANDSSON; BERGMARK, 2016):

- a) Incertezas de parâmetros, relacionadas com a incerteza estatística da obtenção e análise de dados;
- b) Incertezas de cenário, relacionadas às diferentes opções feitas para o estudo, como alocações;
- c) Incertezas de modelo, relacionadas ao conhecimento do modelo a ser estudado.

Dessa forma, a utilização da ferramenta está fortemente conectada com o entendimento da situação a ser avaliada e suposições, como as alocações e exclusões, adotadas: quanto mais conhecido e difundido o sistema em estudo, menores as incertezas, devido a consensos e discussões na área.

A estimativa dos impactos ambientais acumulados ao longo do ciclo de vida é obtida por meio de um inventário de entradas (de matéria e energia) e de saídas (emissões, efluentes e resíduos). Assim, avalia-se assim o potencial dos aspectos ambientais existentes em causar impactos associados a cada etapa do ciclo de vida. Essa ferramenta permite ainda a projeção de cenários futuros e alternativos, possibilitando a identificação das possíveis diminuições de impactos e o comportamento das fases do ciclo de vida. A Figura 1 ilustra as etapas a serem seguidas em um estudo de ACV.

Figura 1- Etapas a serem consideradas em uma análise do ciclo de vida com suas entradas e saídas.



Fonte: Adaptado de CURRAN, 2006.

O pensamento de ciclo de vida – ou *Life Cycle Thinking* (LCT) em inglês – é um conceito essencial para aperfeiçoar todas as etapas constituintes do ciclo de vida de um produto ou serviço, considerando todas as entradas e saídas desse sistema. Seu principal objetivo é reduzir os recursos para a produção e as emissões liberadas pelo produto, permitindo uma visão ampla de todas as etapas do sistema em questão (KIKUCHI-UEHARA et al., 2016).

De acordo com a *United Nations Environment Programme* - UNEP o pensamento de ciclo de vida possui uma filosofia de 6 “Re” (UNEP, 2007):

- Repensar (*Re-think*) um produto para que seja utilizado de forma mais eficiente;
- Reparar (*Re-pair*) – criar produtos que apresentem a viabilidade de reparos e consertos, não sendo imediatamente descartados;
- Substituir (*Re-place*) as substâncias presentes no desenvolvimento do produto que são prejudiciais ao meio ambiente e à saúde;
- Reutilizar (*Re-use*) – desenvolver produtos que permitam sua reutilização após o uso principal;
- Reduzir (*Re-duce*) o uso de materiais, energia e impactos socioeconômicos;
- Reciclar (*Re-cycle*) o produto para que seus componentes possam ser reintroduzidos em algum ciclo antes de sua disposição final.

O gerenciamento do ciclo de vida (*Life Cycle Management* - LCM, em inglês) é parte do sistema de gestão que utiliza o pensamento do ciclo de vida e processos sustentáveis durante toda uma cadeia de processo ou manufatura de um produto, sustentando as políticas e objetivos da organização, melhorando assim o desempenho de sua imagem e a relação com investidores. Para o sucesso, quem adota essa ferramenta deve estar disposto a ir além das fronteiras de processos e elaborar um escopo que abranja todos os pontos da cadeia produtiva, incluindo os investidores (UNEP, 2007).

Portanto, esse tipo de gerenciamento é uma forma de compreender as interações e os impactos dentro da visão do ciclo de vida e aquelas decorrentes de mudanças, aplicando o conceito na prática (PELLETIER, 2015). Além disso, o mesmo é cada vez mais visto como essencial para o desenvolvimento sustentável, agindo como um elo entre os padrões de produção e consumo, dando origem, inclusive, a outras ferramentas como: *Life Cycle Costing* (Custeio do Ciclo de Vida), *Social Life Cycle Assessment* (Avaliação Social do Ciclo de Vida) e *Life Cycle Sustainability Assessment* (Avaliação da Sustentabilidade no Ciclo de Vida), as quais somadas à ACV complementam o pensamento do ciclo de vida (NOTARNICOLA et al., 2017).

3.2.1 Histórico da Avaliação do Ciclo de Vida

Na década de 1960, tiveram início os primeiros estudos considerando o ciclo de vida de um produto ou processo (GUINÉE et al., 2011). Em 1965, a empresa de bebidas Coca-Cola utilizou a ACV para encontrar, dentre diferentes tipos de embalagens, aquela que tivesse o melhor desempenho ambiental na preservação dos recursos naturais (CHEHEBE, 1997).

Na década seguinte, outras empresas, tanto nos Estados Unidos da América como na Europa, passaram a simular estudos de ACV para comparar produtos e tecnologias a serem adotadas. Entre 1970 e 1975, 15 estudos de análise ambiental (*Resources and Environmental Profile Analyses* - REPA) foram desenvolvidos visando a compreensão e aplicação de técnicas de ACV para comparação de produtos e avaliação de seus processos (CURRAN, 2006). Essa década apresentou um maior interesse por esse tipo de estudos devido à crise do petróleo, a qual levou a questionamentos sobre extração de combustíveis fósseis. Após tal crise, houve um declínio em números de estudos, mas a década de 1980 retomou o interesse devido

a preocupações com o meio ambiente (COLTRO, 2006). Em 1985, a ACV foi escolhida como um instrumento de monitoramento de consumo de matéria e energia de empresas pertencentes aos países da União Europeia (FUKUROZAKI; SEO, 2004).

Em 1988 a questão sobre os resíduos sólidos se tornou mundialmente discutida e foco da aplicação da ACV. Três anos mais tarde, a ferramenta era vista como uma ação de marketing e passou a ser amplamente utilizada, o que suscitou o desenvolvimento de metodologias direcionadas à obtenção de resultados satisfatórios (CURRAN, 2006).

Se no início a ACV foi utilizada para quantificar os recursos utilizados e geração de resíduos de um sistema, atualmente é utilizada para diversos serviços, acompanhando as necessidades dos consumidores e do comércio, em que sistemas ambientalmente amigáveis são preferidos (TEILLARD et al., 2016).

A ACV também serve de base para outros segmentos da gestão ambiental, também normatizados pelas normas ISO, como a rotulagem ambiental e o desempenho ambiental (FUKUROZAKI; SEO, 2004).

3.2.2 Padronização da Avaliação do Ciclo de Vida

Entre 1970 e 2000, diferentes métodos foram utilizados para a condução de estudos de avaliação de ciclo de vida e somente na década de 1990 a padronização teve início (GUINÉE et al., 2011). O primeiro documento direcionado a estudos que utilizavam a metodologia com base no ciclo de vida foi a publicação “*SETAC Guidelines for life cycle assessment – a code for practice*”, desenvolvida pela *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* - SETAC (Sociedade de Toxicologia Ambiental e Química), uma organização internacional com objetivos de apoiar o desenvolvimento de ações para a proteção, gerenciamento e aprimoramento dos recursos naturais (COLTRO, 2006; SETAC, 2017).

O grupo de normas ISO 14.000 - Gestão Ambiental - apresenta a família de normas 14.040, que tratam sobre a Avaliação do Ciclo de Vida, a saber (ABNT, 2017):

- ABNT NBR ISO 14.040:2009 – Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e estruturas;
- ABNT NBR ISO 14.044:2009 - Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e Orientações;

- ABNT ISO/TR 14.047:2016 - Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14.044 a situações de avaliação de impacto;
- ABNT ISO/TR 14.049:2014 - Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Exemplos ilustrativos de como aplicar a ABNT NBR ISO 14.044 à definição de objetivo e escopo e à avaliação do inventário.

A ACV vem sendo utilizada para avaliar e aprimorar os sistemas de produção, mapeando os principais e potenciais impactos ambientais e, conseqüentemente, direcionando a ações corretivas e de melhoria. Essas melhorias não dizem respeito apenas a mudanças nos procedimentos e/ou aquisição de matéria-prima, mas também nas ações de consumo e descarte (HELLWEG; CANALS, 2014). Hellweg e Canals (2014) admitem que essa técnica possui incertezas decorrentes da quantidade de dados simulados e, que apesar de ser adequada para diversas decisões, como por exemplo para a gestão de resíduos, essas incertezas devem ser levadas em consideração para saber até que ponto podem ser assumidas em uma simulação. Com isso, é importante frisar que pesquisas baseadas em estudos de ACV já publicados devem levar em consideração essas incertezas e a peculiaridade de onde será realizado novo estudo.

3.2.3 Princípios e Estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14.040:2009, a estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida é a seguinte (ABNT, 2009a):

1. Definição do objetivo e escopo

A definição do objetivo deve conter a razão da realização do estudo e a ação pretendida com o mesmo. Segundo Curran (2006), a etapa de definição de objetivos e escopo é essencial para a determinação do tempo do estudo e das fontes de dados que serão necessárias.

O escopo é formado pela definição das funções do sistema, da definição da unidade funcional (ou unidades funcionais em caso de sistemas multifuncionais); das fronteiras do sistema, determinando quais unidades devem ser incluídas na ACV; os critérios a serem utilizados e a abrangência do estudo (do berço-ao-túmulo, do berço-

ao-berço etc.); dos requisitos de qualidade dos dados, que são as características dos dados levantados (como período de tempo, área geográfica, fontes de dados e outros); da comparação entre diferentes sistemas, quando se tratar de um estudo comparativo; e das considerações sobre análise crítica, que é a definição de como essa análise será realizada. Nessa fase também é definido o tipo de relatório que será elaborado, bem como sua necessidade ou não, inclusive de relatório de terceira parte (ABNT, 2009a).

Uma importante etapa dessa fase é a definição da unidade funcional, a qual pode ser definida como a quantificação do desempenho do sistema a ser estudado, pois os dados de saída serão relacionados a essa definição para sua interpretação (CURRAN, 2006; COLTRO, 2006).

2. Análise do Inventário

A segunda etapa de um estudo de ACV, detalhada pela norma ABNT NBR ISO 14.044:2009, é a descrição geral do inventário do ciclo de vida (ICV) do processo/produto em questão e dos procedimentos de coleta de dados. Essa é a fase mais minuciosa do estudo, pois são consideradas todas as entradas e saídas que influenciarão na geração de impactos ambientais. Muitas vezes essa fase gera uma mudança no escopo do estudo, pois se notam dificuldades na quantificação de determinados dados, bem como a percepção de que novos dados, não considerados inicialmente, serão necessários (ABNT, 2009a).

O ICV permite a identificação, dentro da visão do ciclo de vida, daqueles pontos que necessitam de mudanças, a comparação de entradas e saídas de cenários alternativos e o desenvolvimento de novos produtos e processos (CHEHEBE, 1997). O inventário pode ser dividido em subinventários de acordo com os subsistemas escolhidos, visando a melhoria da coleta de dados.

Especialistas consideram que uma cobertura temporal satisfatória para a elaboração do ICV corresponde a um período de cinco anos, sendo o mínimo de um ano. Entretanto, cada estudo é único e pode considerar peculiaridades, como mudanças de processos, tecnologias e gestão, fazendo com que a série histórica aumente ou diminua (SEO; KULAY, 2006).

3. Avaliação dos Impactos

A fase de avaliação de impactos do inventário do ciclo de vida tem como propósito descrever os potenciais impactos ambientais decorrentes das cargas ambientais levantadas no inventário de ciclo de vida, bem como avaliar a significância dos mesmos. As informações levantadas na fase anterior (ICV) serão correlacionadas a categorias de impactos ambientais, previamente determinadas, para serem avaliadas (ABNT, 2009a).

Essa etapa é padronizada pela norma ISO 14.040:2009 e compreende alguns elementos, obrigatórios (os três primeiros) e opcionais (restante) (MOURAD et al., 2002; ABNT, 2009a; SAADE et al., 2014):

- *Definição das categorias de impacto:* a partir das categorias definidas na etapa de definição do escopo e dos dados levantados no inventário, são elencadas as categorias de impacto ambiental que de fato são relevantes e merecem destaque;
- *Classificação:* baseia-se na correlação de dados do inventário do ciclo de vida (parâmetros) a uma categoria de impacto ambiental;
- *Caracterização:* compreende a modelagem dos dados do inventário de ciclo de vida dentro de categorias de impacto. Busca colocar em uma mesma categoria de impacto ambiental os diferentes parâmetros levantados na etapa de inventário de ciclo de vida. De acordo com Saade et al. (2014), calcula-se a extensão do impacto ambiental por categoria utilizando-se fatores de caracterização para os parâmetros a serem selecionados;
- *Normalização:* os resultados obtidos na caracterização são divididos por um valor de referência em um determinado período de tempo, podendo-se calcular a contribuição de cada categoria para os impactos globais; dados normalizados podem apenas ser comparados dentro de uma categoria de impacto, pois as referências utilizadas para a normalização variam de categoria para categoria;
- *Ponderação:* procedimento em que os impactos são ponderados de acordo com sua significância, ou seja, abordado por subjetividade; essa etapa é a menos desenvolvida nos estudos de ACV;
- *Agrupamento:* essa etapa consiste em agrupar diferentes categorias de impacto em grupos.

Dentre os softwares empregados para a ACV, num contexto global, destaca-se o holandês *SimaPro*, que trabalha com diversas bases de dados, tendo seus valores reconhecidos como internacionais e referência para diversos estudos. Xue e Xu (2017) realizaram uma revisão de trabalhos publicados utilizando ACV para gerenciamento de resíduos eletrônicos e constataram que a maioria (39% dos 33 artigos analisados) utilizou o software *SimaPro*. Outras áreas de estudo também fizeram uso do referido software, podendo-se citar a construção civil e funcionamento de estabelecimentos (PARSONS, 2009; SAADE et al., 2014), agricultura (HARRIS; NARAYANASWAMY, 2009; PAOLOTTI et al., 2016; BENIS; FERRAO, 2016), gestão de resíduos sólidos (PAES, 2013; LAURENT et al., 2014a) e quantificação de gases efeito estufa (HASAN; YOU, 2015). Destacam-se ainda outros softwares de ACV, como os alemães *GaBi*, *Umberto* e *Open LCA*, os franceses *Team* e *WISARD*, o sueco *LCAit* e o japonês *NIRE* (SALLABERRY, 2009; SIMAN et al., 2014). Além disso, um estudo de ACV não precisa necessariamente ser feito por softwares, podendo ser conduzido por equações que relacionem um aspecto ambiental e seu potencial poluidor para determinada categoria de impacto ambiental (ex.: CO_{2eq} e seu potencial causador de aquecimento global).

4. Interpretação dos Resultados

O último passo do estudo de ACV é a combinação entre os resultados do inventário do ciclo de vida e a avaliação dos impactos de acordo com o objetivo e escopo do estudo, chegando-se às conclusões finais (ABNT, 2009a).

Em alguns casos de ACV, os sistemas são multifuncionais, ou seja, desempenham diversas funções. Weiler et al. (2014) realizaram um estudo sobre a consideração da multifuncionalidade na identificação de emissões de carbono pela avaliação do ciclo de vida de atividades de pecuária de pequenos produtores. Em sua análise inicial, os autores encontraram poucas evidências da consideração da multifuncionalidade no tema em estudo, sendo que muitos aspectos foram ignorados e a consideração das diversas funções de um sistema afetou expressivamente o resultado final da avaliação. Em sua conclusão, os autores ponderaram que a tradicional ACV aplicada a sistemas com aspectos multifuncionais deixa a desejar e não se enquadra às multifuncionalidades estudadas. Dessa forma, o desenvolvimento de uma metodologia que possa ser aplicada a sistemas multifuncionais se faz necessária para a obtenção de resultados com precisão. Laurent et al. (2014b), em

sua revisão de literatura acerca de estudos de ACV na gestão de resíduos sólidos, ponderaram que 13% de todos os trabalhos analisados por eles não deixaram claro os procedimentos assumidos para sua execução devido à multifuncionalidade presente em suas propostas de pesquisa.

3.2.4 Tipos de Avaliação de Ciclo de Vida

A avaliação de ciclo de vida é mais conhecida como uma abordagem do berço ao túmulo, ou *cradle-to-grave* em inglês, que abrange os impactos ambientais desde a extração de matéria-prima até a disposição final. Mas existem outras abordagens que reduzem o tempo de análise dos impactos, como (EUROPEAN COMMISSION, 2010; PAES, 2013; COSTA, 2015):

- Berço ao portão - *Cradle-to-gate*: essa abordagem compreende a análise dos potenciais impactos ambientais gerados desde a extração de matéria-prima até a distribuição do produto, considerando o transporte e processamento, ou seja, até o produto deixar a empresa;
- Berço ao berço - *Cradle-to-cradle*: essa abordagem considera a reintrodução do resíduo ao processo produtivo, ou seja, considera a extração de matéria-prima, processamento, transporte, distribuição, uso, destinação final e reaproveitamento/reciclagem;
- Portão ao portão - *Gate-to-gate*: é quando apenas uma etapa do processo é selecionada;
- Portão ao túmulo – *Gate-to-grave*: abordagem que considera as etapas de uso e disposição final de um produto.

A ACV tem dois campos principais de aplicação: mensurar o desempenho ambiental de um sistema e comparar diferentes cenários para tomada de decisão, sendo a última a mais usual aplicação encontrada na literatura (MUÑOZ; NAVIA, 2011).

Existem dois tipos de modelos para análise do inventário de ciclo de vida: *Attributional Life Cycle Assessment (ALCA)* e *Consequential Life Cycle Assessment (CLCA)*. O primeiro tem como objetivo descrever os fluxos físicos relevantes envolvidos na produção, consumo e disposição de um produto ou decorrentes de um processo, analisando apenas os fluxos que de fato ocorrem e geralmente faz uso de

alocações (UNEP, 2007; FINNVENDEN et al., 2009; UNEP, 2011; INGRAO et al., 2017).

De acordo com a ISO 14.044:2009, alocação é a repartição de entradas ou saídas de um sistema entre o sistema de produto em estudo e outro sistema de produto (ABTN, 2009b). É um procedimento utilizado para a distribuição de cargas ambientais decorrentes de consumo de recursos e geração de resíduos para mais de um produto gerado. Seo e Kulay (2006) afirmam que é preferível assumir alocações de caráter físico sempre que possível, assim os fluxos que contribuirão para determinado aspecto ambiental serão divididos entre os produtos finais (PAES, 2013).

A *CLCA*, por sua vez, descreve como os fluxos físicos relevantes mudarão frente a decisões que poderão ser adotadas. A *CLCA* é utilizada para avaliar a performance ambiental de um sistema e serve como suporte para decisões referentes a mudanças nas entradas, consumo e disposição final de um produto, levando em consideração mudanças internas e externas a seu ciclo de vida (UNEP, 2007; INGRAO et al., 2017). Essa abordagem é mais complexa e uma falha na identificação de hipóteses (mudanças em processos) acarretará um resultado final equivocado (FINNVENDEN et al., 2009; UNEP, 2011).

Em suma, enquanto a *ALCA* responde à pergunta de como estão os fluxos de matéria e energia dentro do escopo escolhido, a *CLCA* considera as mudanças nas etapas, visando a responder como o sistema se comportará mediante uma mudança (CURRAN, 2006). Anex e Lifset (2014) afirmam que esses dois modelos são válidos para diferentes abordagens, cabendo ao autor do estudo a escolha do mais adequado.

3.3 Vantagens e Limitações da Avaliação de Ciclo de Vida

Curran (2006) pondera algumas vantagens da ACV, como a identificação dos maiores e menores impactos ambientais cumulativos ao longo do ciclo de vida de um produto ou processo, bem como a etapa de ocorrência. Outros aspectos positivos referem-se a permitir o desenvolvimento de ações para avaliar os impactos ambientais; a quantificação de emissões atmosféricas, aquáticas e terrestres; a identificação de danos ecológicos e para a saúde humana; a comparação entre produtos semelhantes e uma avaliação do desempenho ambiental.

Portanto, as principais aplicações da ACV são: a comparação dos aspectos e impactos ambientais de produtos com funções semelhantes e identificação dos

principais impactos e sua fase, proporcionando ações de melhorias de desempenho ambiental. Para a comparação de processos e/ou serviços, um fluxograma de entradas e saídas dos principais processos deverá ter um detalhamento máximo, ou seja, não são necessárias tantas etapas do ciclo de vida a serem consideradas, mas as informações deverão ser detalhadas. No processo de identificação de melhorias e oportunidades, esse fluxograma deverá ser mais amplo, abrangendo mais etapas do ciclo de vida (SEO; KULAY, 2006).

Uma limitação de estudos de ACV é que seus resultados apresentam incertezas devido à qualidade dos dados coletados, suposições adotadas, simulações e modelos escolhidos (HELLWEG; CANALS, 2014). Em alguns casos, os dados obtidos na elaboração do inventário do ciclo de vida precisam ser alocados, extrapolados e, ainda, são utilizados métodos de ponderação, o que cria incertezas sobre o resultado final. Somam-se ainda, as bases de dados utilizadas que podem ser incompatíveis com as peculiaridades do local de estudo e sua aplicação (ex.: a matriz energética do banco de dados escolhido é diferente da do local de estudo).

Finnveden et al. (2009) afirmam que as limitações da ACV não se diferem muito daquelas existentes em outras ferramentas de gestão, sendo de extrema importância a identificação das mesmas. Além disso, segundo os mesmos autores, a ACV é uma abordagem mais adequada para a comparação de produtos e processos do que para a tomada de decisões, tendo seu desempenho otimizado quando utilizada em conjunto com outras ferramentas de gestão ambiental e de caráter econômico.

Outras fontes de incertezas na ACV são a forma como os as entradas e saídas são adquiridas e alocadas (mesmas entradas em diversas etapas), dados antigos (o que vem sendo superado pelo desenvolvimento de tecnologias e necessidades de acompanhamento dos processos) e dados incompletos (HENDRICKSON, 2006). A ACV também não leva em consideração os impactos econômicos e sociais, importantes para a tomada de decisões.

Durante o estudo de avaliação de ciclo de vida, alguns impactos podem ser insignificantes e, conseqüentemente, desconsiderados, assim como outras informações. Dessa forma, o objetivo e escopo do estudo podem ser alterados na fase de inventário de ciclo de vida e caso essas mudanças e informações não sejam consideradas e documentadas, as incertezas no resultado final aumentam.

3.4 Aplicações da Avaliação do Ciclo de Vida

3.4.1 Emprego da Avaliação do Ciclo de Vida na gestão de resíduos sólidos

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta de gestão ambiental que, apesar de suas limitações, vem sendo utilizada em diversas áreas, como na tomada de decisões administrativas. É um poderoso instrumento, por exemplo, para a gestão de resíduos sólidos, comparando as diversas opções para destinação final dos resíduos, bem como os potenciais impactos a serem gerados por cada opção. Entretanto, essa aplicação consiste num desafio, pois sua complexidade se deve às características locais e, principalmente, composição do resíduo a ser gerenciado (AHAMED et al., 2016; RIPA et al., 2017).

Laurent et al. (2014a) realizaram uma revisão crítica de 222 artigos sobre a aplicação da ACV na Gestão de Resíduos Sólidos. Os autores objetivaram mapear os estudos publicados entre 2009 e o primeiro semestre de 2012, analisando sua distribuição geográfica, identificando a metodologia utilizada, bem como o mal uso de dados e da própria metodologia adotada e os possíveis equívocos de interpretação desses estudos pelos leitores. A maior parte dos estudos analisados, de acordo com critérios de relevância definidos pelos autores, decorreram de países desenvolvidos, sendo Itália (33), Espanha (22), Suécia (20) e Dinamarca (19) os líderes no desenvolvimento do tema (um reflexo de países com maiores aplicações da ACV no tema e desenvolvimento na área), porém poucos focaram-se na prevenção da geração de resíduos. Estados Unidos da América e China apresentaram estudos significantes, porém, destacaram os autores, o número foi baixo em relação a sua dimensão populacional. Dos 222 artigos, apenas 87 foram classificados como “Bons”, sendo o restante desconsiderado para as análises críticas da aplicação da técnica. Desses, 20% seguiram as normas ISO 14.040 e/ou ISO14.044.

Em relação à etapa de definição de objetivos, foi identificado que a maioria dos estudos apresentou um suporte à metodologia de ACV aplicada à gestão de resíduos sólidos, com definições inadequadas de seus objetivos e usos, utilizando-se de informações insuficientes ao leitor, o que pode levar a interpretações errôneas. Já a respeito do escopo, 17% não especificaram sua unidade funcional, sendo que a maior parte utilizou unidade funcional unitária. Notou-se ainda a falta de especificação dos tipos de resíduos, haja vista que os resíduos apresentam composições diferentes de

local para local e os estudos devem ser adaptados a diversas realidades (Laurent et al., 2014b).

Menos de 50% dos estudos analisados realizaram a análise dos impactos cobrindo as cinco categorias de impacto definidas: impactos atóxicos, impactos tóxicos, fontes não renováveis, uso da terra e uso de água. Dos 87 trabalhos, 93% deram prioridade a impactos na saúde humana, deixando os impactos nos ecossistemas de fora das análises (Laurent et al., 2014b).

Com relação ao uso de dados de literatura para o inventário de ciclo de vida, 29% utilizaram os dados de maneira inadequada. Na etapa de avaliação dos impactos, a maior parte dos estudos parou na etapa de caracterização, embora 46% tenha utilizado a normalização e 26% a ponderação. Dos 222 estudos, 101 utilizaram análise de sensibilidade (para medir o quanto os dados são influenciados pelo modelo escolhido) e apenas 13 utilizaram análises de incerteza (quantificando a incerteza presente no resultado final). Para cada tópico abordado, após a identificação das inconsistências, os autores sugeriram melhorias aos estudos, destacando-se a ênfase na definição clara dos objetivos e escopo, deixando claro o tipo de dados utilizados (nesse caso, caracterização dos resíduos tratados) e o propósito do estudo (Laurent et al., 2014b).

Semelhante a Laurent et al. (2014a), Xue e Xu (2017) realizaram uma revisão dos principais estudos, tendências e desafios à gestão de resíduos eletrônicos, incluindo em sua base de pesquisa apenas artigos que utilizaram a avaliação do ciclo de vida e reciclagem e/ou gerenciamento desse tipo de resíduos. Os autores notaram que entre 2010 e 2014, o número de estudos publicados na temática foram duas vezes maiores do que aqueles entre 2005 - 2009, sendo que os estudos se concentraram na Europa, destacando a evolução na Ásia, especialmente China. Os estudos publicados pautaram-se na comparação de tecnologias para o gerenciamento desse tipo de resíduos e cerca de 40% utilizaram outros instrumentos para uma análise conjunta, como análise de custo. A incerteza dos dados utilizados foi abordada em diversos artigos, levando a suposições na construção do inventário de ciclo de vida e em sua interpretação. Em relação à etapa de avaliação dos impactos do inventário do ciclo de vida, observou-se que alguns estudos não deixaram claro qual método havia sido escolhido. Dos 33 artigos, 63% realizaram as etapas de normalização e ponderação.

Ripa et al. (2017) realizaram um estudo comparativo dos potenciais impactos ambientais de três cenários para a disposição de resíduos urbanos (quantidades consideradas do ano de 2012) de uma cidade italiana. Em seu texto, os autores enfatizam que é um desafio encontrar a maneira ambientalmente mais correta para a disposição de resíduos, pois a análise depende de diversos fatores, como a composição do resíduo e as peculiaridades do local. Assim, em seus cenários, consideraram as porcentagens de segregação dos resíduos, tratamentos e disposição final escolhidas e sua logística. Para o estudo, utilizaram a ACV, a qual demonstrou que os principais impactos se deveram ao transporte e ao processamento/tratamento de resíduos para sua disposição final.

3.4.2 Emprego da Avaliação do Ciclo de Vida na agricultura

O Brasil é um país que se destaca na agricultura, sendo um dos maiores produtores e exportadores de produtos como soja, milho, carne e biocombustíveis derivados da cana-de-açúcar (MAPA, 2016). O setor agroindustrial é responsável por grande parte das exportações brasileiras, sendo previsto um salto de 37% na exportação de produtos agrícolas brasileiros entre os anos de 2010-2020 (RUVIARO et al., 2012).

Os estudos de ACV na agricultura apresentam alta relevância, pois, nos últimos anos os consumidores passaram a procurar produtos ambientalmente mais eficientes. Além disso, os produtores passaram a se conscientizar de que precisam aperfeiçoar suas práticas para atingir uma maior parcela do mercado consumidor e até mesmo conseguir benefícios econômicos, além dos critérios ambientais terem ficado mais restritos para a exportação agrícola e os mesmos visarem a uma maior eficiência em seu sistema produtivo (RUVIARO et al., 2012).

Assim como os processos tecnológicos, a pecuária e a produção de alimentos também causam impactos ambientais que devem ser controlados. Com o aumento da população, ocorre um aumento da demanda de alimentos, suscitando a necessidade de desenvolvimento tecnológico e procura por práticas que aumentem a produção.

A pecuária é responsável por cerca de 15% de emissões globais de gases do efeito estufa (WEILER et al., 2014). A agricultura é responsável por cerca de um quinto das emissões anuais globais de CO₂, CH₄ e N₂O, as quais contribuem para impactos ambientais como mudanças climáticas, subindo para um terço se

considerada a mudança do uso do solo (PAOLOTTI et al., 2016). Um modo para o desenvolvimento de ações de mitigação e controle dos impactos dessas atividades é a ACV, a qual permite identificar os potenciais impactos ambientais gerados por essa atividade. No começo da década de 1990, deram-se início aos primeiros estudos de ACV no setor alimentício (COLTRO, 2006).

Um exemplo é a *Food and Organization of the United Nations* – FAO, a qual realizou estudos utilizando a ACV para o cálculo de emissões antropogênicas de gases causadores do efeito estufa por quilo de alimento produzido (WEILER et al., 2014). Claudino e Talamini (2012) ponderaram a dificuldade de estudos de ACV nessa área, pois deve-se considerar a produção agrícola, insumos utilizados, refino industrial, embalagem, distribuição, consumo e gerenciamento de resíduos. Além disso, o uso do solo e a rotação de cultura são fatores ainda não claros para serem considerados numa ACV (COLTRO, 2007).

Coltro et al. (2006) realizaram o primeiro estudo brasileiro de avaliação do ciclo de vida sobre a produção de café de quatro regiões brasileiras para quantificar e qualificar os potenciais aspectos ambientais dessa atividade. Foram consideradas as etapas de cultivo, colheita, beneficiamento, estocagem e transporte do produto, quantidade utilizada de fertilizantes, defensivos agrícolas, água, óleo diesel e energia para a elaboração de um inventário de ciclo de vida dos principais aspectos ambientais existentes e que estavam relacionados às categorias de impacto ambiental consumo de recursos naturais, consumo de combustíveis fósseis, acidificação, toxicidade humana, ecotoxicidade, uso do solo e eutrofização.

Os aspectos que mais contribuíram para a atividade foram consumo energético, consumo de água e uso de defensivos agrícolas e fertilizantes. O consumo energético relacionou-se à extração de óleo diesel, produção de combustível (o qual foi utilizado pelos implementos agrícolas) e à queima de madeira, utilizada no processamento e secagem dos grãos de café. Outro aspecto relevante foi o uso da água para o processamento dos grãos, o qual deveria ser avaliado para um menor e mais eficiente uso. O resultado do ICV foi de que a principal ação a ser adotada seria a redução de entradas no sistema, principalmente às relacionadas ao uso de fertilizantes e defensivos agrícolas (COLTRO et al., 2006). Ferreira (2004) afirma que as infraestruturas devem ser levadas em consideração em um estudo de ACV, mesmo na agricultura, pois chegam a ser responsáveis por 15% do consumo energético.

Um dos impactos causados pela agricultura diz respeito ao transporte. Os centros produtores encontram-se distantes das cidades, percorrendo cada vez mais e mais quilômetros (BENIS; FERRÃO, 2016). Dependendo da região, esse transporte é feito pelas vias rodoviárias (como a grande parte do transporte brasileiro) e o consumo de combustível é alto, contribuindo para impactos ambientais como emissões atmosféricas e consumo de recursos naturais. Junte-se a isso os transportes de insumos e implementos agrícolas, aumentando as entradas e saídas do sistema. Gunther (1992 apud BENIS; FERRÃO, 2016, p.784) trouxe o dado de que o café da manhã típico de uma família sueca nos anos de 1990 percorria uma distância igual o perímetro da Terra antes de chegar na mesa. Uma solução para a diminuição dos impactos relacionados à logística seria o desenvolvimento e incentivo de mais unidades de produção periurbanas e de produtores locais, para que possam expandir seu atendimento. Além disso, mudanças de hábitos alimentares também podem contribuir para a diminuição dos diversos impactos ambientais gerados pela agricultura (BENIS; FERRAO, 2016).

Uma diferença entre a aplicação da ACV na agricultura e nos setores industriais é que a atividade agrícola não apresenta um consumo linear de recursos e os principais sistemas são multifuncionais, necessitando-se de alocações. Além disso, a agricultura tem o uso da terra e do solo, devendo-se levar em consideração o balanço de nutrientes, que, por sua vez deverá ser modelado por sistemas que considerem as peculiaridades da região e das práticas adotadas (HARRIS; NARAYANASWAMY, 2009). A metodologia atual não aborda aspectos críticos como perda da qualidade e fertilidade do solo, erosão, redução dos serviços ecossistêmicos e perda da biodiversidade (NOTARNICOLA et al., 2017).

Alvarenga (2012) realizou uma revisão bibliográfica dos estudos de ACV na agricultura brasileira e mundial. No Brasil, utilizou os trabalhos apresentados no “II Congresso Brasileiro em Gestão do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços”, em que a maioria dos estudos tinha como foco a energia. Já para os estudos internacionais, o referido autor utilizou trabalhos do ano de 2011 e notou o predomínio de ACVs na agricultura considerando os temas uso do solo e energia.

Costa et al. (2018) avaliou a ecoeficiência ambiental, social e econômica dos sistemas: integração lavoura-pecuária, integração lavoura-pecuária-floresta e sistemas convencionais de cultivo de madeira, grãos e criação de gado no cerrado brasileiro. A partir de uma ferramenta baseada na análise do ciclo de vida na

agricultura, os resultados obtidos foram de que as categorias mais relevantes e que devem ser tratadas com prioridade são toxicidade potencial e uso do solo. A toxicidade humana dos sistemas integrados apresentou 50% menor relevância quando comparada ao sistema convencional e foi influenciada, principalmente, pelo uso de fertilizantes e transportes a partir de diesel. A categoria uso do solo relativa aos sistemas integrados obteve 84% menor impacto na biodiversidade do que os sistemas convencionais, sendo influenciada pelo uso direto do solo e alimentação do gado. Em relação aos custos, a integração lavoura-pecuária-floresta apresentou indicadores 54% menores do que o sistema convencional. Por fim, os resultados demonstraram que o sistema lavoura-pecuária-floresta apresentou vantagens sociais, econômicas e ambientais do ponto de vista do ciclo de vida, seguida por sistema lavoura-pecuária e sistemas convencionais.

3.4.3 Emprego da Análise do ciclo de vida na educação

Como mencionado, não apenas os produtos, mas os processos podem ter seus potenciais impactos ambientais avaliados pelo seu ciclo de vida. Um exemplo é a educação.

Nakajima et al. (2011) consideraram efetivo o uso do pensamento do ciclo de vida como uma ferramenta de educação ambiental para mudar o comportamento das pessoas em relação a suas atitudes. Esses autores partiram do pressuposto de que para entender mais sobre o meio ambiente e suas relações, as pessoas precisam perceber que seu estilo de vida o influencia. Dessa forma, os autores resolveram disseminar o pensamento do ciclo de vida para analisar a conscientização de alunos do ensino médio de uma cidade japonesa a partir da relação entre o ciclo de vida de suas atitudes cotidianas e os impactos nas mudanças climáticas. Como resultado final, os autores puderam perceber que houve uma maior compreensão por parte dos alunos de como suas ações causam impactos ambientais, tornando-se uma ferramenta para mudança comportamental.

Parsons (2009) fez um estudo sobre os impactos ambientais decorrentes do ensino de engenharia e ciências espaciais em uma universidade da Austrália, destacando a causa dos principais impactos e as oportunidades de melhorias. Os autores analisaram as duas formas de ensino: presencial e à distância, sendo na última, obrigatória a presença de todos os alunos ao menos uma vez ao semestre.

Os impactos identificados tiveram predominância na emissão de gases causadores do efeito estufa devido ao uso de eletricidade (na Austrália, a maior parte da eletricidade é produzida pela combustão do carvão) e referentes à logística. Como a maior parte dos alunos pertencia ao ensino à distância, as contribuições relacionadas ao uso da água e eletricidade do campus não foram significativas a primeiro momento. Porém, os alunos faziam uso de eletricidade para estudar e realizar atividades on-line em seus domicílios e ainda existe a logística tanto dos servidores da faculdade como das viagens dos alunos para aulas presenciais (existindo alunos até de fora da Austrália), destacando-se, enfim, que o uso de eletricidade e emissões de gases causadores do efeito estufa existem, sendo estes últimos, os mais significativos (PARSONS, 2009). O pensamento de ciclo de vida e aplicação da ferramenta podem ser estendidos a diversas outras práticas de educação.

Fouto et al. (2002 apud PARSONS, 2009, p.181-182) realizaram pesquisa semelhante, porém em uma universidade com ensino presencial e com menos alunos que aquela estudada por Parsons (2009). Os resultados foram que a emissão de gases causadores do efeito estufa e uso de eletricidade foram os principais potenciais causadores de impactos ambientais. Nota-se que nesse estudo a eletricidade do campus foi fator relevante (aproximadamente duas vezes o equivalente ao estudo australiano), já que as aulas eram presenciais. O mesmo ocorreu com os gases causadores do efeito estufa (aproximadamente metade do valor obtido do estudo australiano) decorrente da logística, porém, nesse caso ela estava diretamente relacionada com o transporte diários dos alunos.

Scheuer et al. (2003) realizaram um inventário de ciclo de vida de todo o material utilizado para a construção de um prédio da Universidade de Michigan (Estados Unidos da América), bem como o sistema sanitário. As classes de impacto analisadas foram as seguintes: consumo de energia primária, potencial de aquecimento global, depleção da camada de ozônio, potencial de acidificação e geração de resíduos sólidos. O resultado foi de que o estudo só pôde ser concluído pelo prédio já estar construído, o que demonstra a falta de uma base de dados a ser utilizada, enfatizando ainda que a fase operacional foi a maior responsável pelos impactos ambientais gerados, da ordem de 83%. Assim, os autores sugeriram uma otimização da fase de operação do prédio, bem como a escolha por energias limpas e eficientes.

Ingwersen et al. (2012) realizaram um estudo na Universidade de Cincinnati, Estados Unidos da América, para comparar os fluxos ambientais decorrentes da escolha da criação de um relatório anual da universidade nos meios digital e impresso, sendo o último método o recorrente na divulgação do relatório. O estudo levou em considerações o ciclo de vida produtivo e emissões de gases causadores do efeito estufa, uso de energia, consumo de água e poluentes causadores de impactos na saúde humana e ecossistema. O resultado foi de que a escolha da distribuição digital representou uma diminuição de impactos ambientais negativos, como a redução pela metade de gases do efeito estufa, exclusão da etapa de disposição final e economia financeira, de U\$ 34.000 frente à distribuição impressa. Entretanto, frisa-se que, caso o leitor decida imprimir o relatório, as emissões de gases aumentam em relação ao relatório já impresso e o tipo de computador a ser utilizado pode aumentar ou diminuir o consumo energético (*notebooks* e *laptops* representaram diminuição de até 4% do consumo energético, sendo que *Desktops* mais antigos representaram um aumento de 10% da energia quando comparados com os relatórios já impressos).

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A Divisão de Produção Rural (DPR) é uma propriedade rural com 574 hectares localizada entre os municípios de Araçoiaba da Serra, Sorocaba e Salto de Pirapora. Inicialmente, sua função era a produção de alimentos aos quase três mil animais do plantel da Fundação Parque Zoológico de São Paulo (FPZSP, 2017), mas na década de 1990 passou a receber animais para reprodução e nos anos 2000 deu início a atividades de educação ambiental (FPZSP, 2013).

A produção agrícola baseia-se na produção de milho, trigo, frutas, forrageiras, sendo os dois primeiros matéria-prima para uma fábrica de ração localizada no parque zoológico em São Paulo, além de alimentação propriamente dita, e diversos produtos a serem utilizados em ornamentação de recintos, por exemplo. A produção superou 1.800 toneladas no ano agrícola 2015 - 2016, sendo utilizados 300 hectares para a obtenção de diversos produtos agrícolas, como demonstrado na Tabela 1. As forragens compreendem cana-de-açúcar, capim verde, feno, guandu, leucena e silagem. Já “Outros” refere-se a galhos de árvores, madeira, jambolão, cupinzeiro e

bambu. Atualmente, a DPR satisfaz 90% dos produtos vegetais necessários aos animais da Fundação, sendo o restante referente a culturais sazonais não produzidas pela unidade.

Tabela 1 - Produção agrícola da DPR no ano agrícola 2015-2016

Hortaliças	Beterraba (kg)	422,00
Frutas	Abacate (kg)	80,00
	Banana (kg)	15.792,00
	Laranja (kg)	1.125,00
	Tangerina (kg)	100,00
Grãos e Derivados	Milho (kg)	1.386,19
	Trigo (kg)	30,18
Forragens	Forrageiras (kg)	426,64
Raízes e tubérculos	Mandioca (kg)	1,20
Outros	Outros (kg)	26,88

Fonte: Acervo pessoal.

Em 2011, teve início um programa de educação ambiental chamado “Fazenda Legal”, em que a DPR passou a receber visitas de escolas e educadores de cidades parceiras para um curso de formação ambiental (FPZSP, 2013). De 2011 a 2016, 8.100 alunos participaram de visitas monitoradas, além do recebimento de 1.102 alunos de cursos técnicos, graduação e pós-graduação. As visitas monitoradas, para alunos numa faixa etária de 7 a 12 anos, são periódicas, visto que o programa é dividido em duas fases: formação de educadores em educação ambiental e recebimento dos alunos desses educadores para uma trilha ecológica, onde as lendas do folclore realizam uma conexão entre a temática de meio ambiente e suas histórias. Ainda, sofre influências de questões econômicas, pois depende da disponibilidade financeira das cidades parceiras para enviar os alunos até a unidade. Além das cidades parceiras, recebe visitas esporádicas de outras cidades e grupos específicos, tendo também um clube ecológico que ocorre em finais de semana para a comunidade vizinha.

Dentro dos 574 hectares, a DPR abriga o Centro de Conservação de Fauna Silvestre do Estado de São Paulo (CECFAU), quarta unidade da FPZSP (além do Parque Zoológico, DPR e Zoo Safári) e com função de reprodução de animais silvestres para a futura reintrodução dos mesmos na natureza (FPZSP, 2015). Somando-se os animais do CECFAU (brasileiros) com os da DPR (exóticos), teve-se um número de 52 indivíduos silvestres no ano de 2016. Esse centro não é aberto para

visitação e não possui programa de educação ambiental, pois está totalmente voltado para conservação. O que ocorre é que os animais da DPR estão dentro do programa de educação ambiental e fazem parte da abordagem de biodiversidade passada aos visitantes. Essa atividade era supervisionada por uma bióloga e por não possuir veterinários, recebeu periodicamente a visita de especialistas para atender os animais do plantel no ano de 2016. Além disso, existem visitas de outros profissionais, como engenheiros, eletricitas e servidores para manutenções em todas as atividades da DPR.

4.2 Revisão de literatura

A revisão de literatura foi realizada com o objetivo de identificar aplicações da ACV ao contexto do trabalho aqui desenvolvido, dentro de um parque zoológico, em centros destinados à criação de animais para sua manutenção e/ou reprodução, produção agrícola e educação ambiental. Foram utilizados os seguintes sites: *Periódicos Capes*, *Scopus*, *Web of Science* e *Google Acadêmico* nos idiomas inglês e português para a aquisição de teses de doutorado, dissertações de mestrado, artigos publicados em periódicos e congressos e trabalhos de conclusão de cursos. Também utilizaram-se sites de organizações, como ONU, ISO e MAPA, para obter outras informações e relatórios, bem como os manuais do software e do método de cálculo de impacto ambiental utilizados.

Para a aplicação da ACV em gestão de resíduos sólidos, restringiu-se a busca para um período dos últimos cinco anos, por ser um assunto amplamente discutido e com diversas aplicações da ferramenta. Já para a produção agrícola e educação, restringiu-se a dez anos, selecionando-se os trabalhos mais relevantes e mais próximos ao contexto do trabalho.

Para a aplicação da ACV em zoológicos, não foram encontrados resultados publicados, apenas um trabalho em que essa ferramenta foi aplicada em um evento ocorrido num zoológico australiano (Taronga Zoo), realizado pela empresa de consultoria Edge Environment (EDGE ENVIRONMENT, 2017). Essa busca também foi estendida para o site de buscas *Google Scholar*, analisando se uma maior abrangência resultaria em algum resultado mais próximo ao desejado.

Para a conservação e reprodução animal, notou-se uma dificuldade, pois muitos trabalhos referem-se à aplicação da ACV na obtenção de produtos de origem

animal e não na manutenção e/ou criação dos mesmos. O Quadro 1 reflete as diferentes combinações na busca por aplicações de ACV e gestão ambiental na área de conservação e reprodução animal, bem como a temporalidade adotada. Os resultados obtidos englobam artigos de periódicos, congressos, boletins e demais trabalhos com o tema proposto.

Quadro 1 – Combinações e temporalidades adotadas na busca por trabalhos de conservação e reprodução animal

Combinações		Temporalidade (anos)	Resultados (diversos)
Life cycle assessment (Título)	National Park (Título)	Sem restrição	7
Life cycle assessment (Assunto)	National Park (Título)	5	67
Life cycle assessment (Título)	National Reserve (Título)	Sem restrição	0
Life cycle assessment (Assunto)	National Reserve (Título)	5	260
Life cycle assessment (Título)	Breeding animal (assunto)	Sem restrição	1
Life cycle assessment (Título)	Animal conservation (assunto)	Sem restrição	16
Life cycle assessment (Título)	Animals (assunto)	5	13

Fonte: Adaptado de Periódicos Capes, Scopus, Web of Science.

Notou-se uma maior quantidade de trabalhos relacionando parque/reserva natural com ACV, porém, os trabalhos não se relacionavam com a manutenção da fauna ou da própria unidade, referindo-se a atividades desempenhadas nesses locais.

Não foram encontrados estudos semelhantes ao aqui desenvolvido, relacionando impactos ambientais a um centro de conservação, manutenção ou reprodução de animais silvestres. Essas dificuldades devem-se ao fato da ACV ser comumente destinada à análise de produtos e processos e não levar em consideração aspectos sociais relevantes aos consumidores, como o bem-estar animal e condições de trabalho (NOTARNICOLA et al., 2017).

4.3 Definição dos objetivos e escopo do estudo nos moldes da norma ISO 14.040:2009 e ISO 14.044:2009

4.3.1 Objetivo do estudo

Partindo-se do fato de que a Fundação Parque Zoológico de São Paulo possui um sistema de gestão ambiental e certificação ISO 14.001, o objetivo do presente estudo foi estimar os potenciais impactos ambientais produzidos por sua unidade de produção agrícola, a Divisão de Produção Rural (DPR), no ano de 2016, pela avaliação do ciclo de vida, servindo como um apoio à avaliação de seu desempenho ambiental.

4.3.2 Escopo do estudo

A definição do escopo apresenta a caracterização das fases que irão guiar um estudo de ACV e a interpretação dos resultados obtidos. Essa etapa levou em consideração a caracterização das funções do sistema de produto, unidade funcional, sistema de produto a ser estudado, fronteiras do sistema de produto, tipos de impacto, metodologia de avaliação de impacto ambiental e interpretação a serem utilizadas, requisitos de dados, suposições e limitações.

4.3.2.1 Funções do sistema

A função do sistema em estudo foi avaliar os potenciais impactos ambientais decorrentes das atividades de educação ambiental, conservação e reprodução animal, produção agrícola e atividades administrativas dentro de uma propriedade rural.

4.3.2.2 Unidade funcional

A unidade funcional é a quantificação das saídas do sistema a ser estudado, sendo uma referência para a análise dos resultados finais (ABNT, 2009a).

A partir da determinação das funções do sistema, definiu-se a unidade funcional do estudo para o ano de 2016 como “Avaliação dos potenciais impactos ambientais

decorrentes da produção anual de 1.386 t de milho, 427 t de forrageiras, 30 t de trigo, 15 t de banana e 30 t de outros produtos agrícolas; conservação e reprodução de 52 animais silvestres; promoção de atividades de educação ambiental com recebimento médio anual de 650 visitantes e atividades administrativas sustentadas por 18 funcionários”.

4.3.2.3 Sistema de produto a ser estudado e fronteiras do sistema

A fronteira do sistema estudado foi o limite da DPR, considerada em sua totalidade de 574 hectares, incluindo o CECFAU, localizado dentro da área territorial da unidade agrícola, e levando em consideração os impactos ocorridos do berço-ao-túmulo.

Para melhor análise e levantamento de aspectos ambientais, a unidade foi dividida em quatro subsistemas, de acordo com as principais atividades desempenhadas: educação ambiental, conservação e reprodução animal, atividades administrativas e produção agrícola.

4.3.2.4 Procedimentos de alocação

Não foram realizados procedimentos de alocação neste estudo.

4.3.2.5 Tipos de impacto e metodologia de avaliação e interpretação

Para o cálculo dos impactos ambientais do inventário do ciclo de vida, utilizou-se o software *SimaPro 7.3.0*, o qual tem como saída os potenciais impactos ambientais gerados e separados em categorias de danos. Esse software não é livre e foi utilizada a licença existente no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Itapetininga. Devido à sua ampla base de dados, esse software tem seus valores reconhecidos internacionalmente para qualquer tipo de estudo (FERREIRA; LEITE, 2015).

Dentre as diversas bases de dados, priorizou-se a *Ecoinvent*, por conter diversos aspectos ambientais, como a matriz energética brasileira, e ser utilizada para diversos estudos de ACV, declaração ambiental de produtos, pegada de carbono, entre outros (ECOINVENT, 2017). Entretanto, em alguns casos foram necessários

dados pertencentes a outras bases de dados e com unidades de medidas que foram levantadas do inventário. Priorizou-se os dados com extensão *RER*, oriundos da Europa, sendo que em alguns casos não foi possível sua escolha e então optou-se pela extensão *CH*, oriunda da República Tcheca.

O método escolhido para o cálculo dos impactos foi o *Eco-Indicator 99(H)*, desenvolvido na Suíça e amplamente utilizado no meio científico. Os dados de saída expressam a carga ambiental total relacionada ao ciclo de vida de um produto ou processo (MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND THE ENVIRONMENT, 2000).

O método *Eco-Indicator 99(H)* utiliza uma normalização e ponderação em nível de categorias de dano (dano médio causado a um europeu), as quais são divididas em três e englobam 11 categorias de impacto ambiental, a saber (MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND THE ENVIRONMENT, 2000; GIANELLI, 2014; PRÉ, 2016):

- Influência na Saúde Humana – expressa o número de anos de vida perdida e vivida com deficiência, medida em DALY – *Disability Adjusted Life*;
- Consequências Ecológicas – expressa a perda de espécies em determinada área e em determinado tempo, medida em PDF - *Potentially Disappeared Fraction* e PAF – *Potentially Affected Fraction*;
- Uso de Recursos Naturais – expressa a energia excedente para extração de combustíveis fósseis e minerais, medida em MJ de energia adicional.

A versão *Hierarchist(H)* do método assume uma perspectiva de impactos a longo prazo e que os danos podem ser evitados por meio de gestões eficientes, atribuindo à categoria Consequências Ecológicas um maior peso em sua pontuação (PRÉ, 2016).

O Quadro 2 apresenta as categorias de impacto ambiental analisadas e sua relação com as respectivas categorias de dano, escopo de aplicação (abrangência global e local, direcionadas ao continente Europeu, Holanda e Suíça), bem como seus fatores de caracterização, essenciais para a correlação de dados do inventário de ciclo de vida (ICV) com os indicadores de impactos ambientais.

Quadro 2 – Categorias de impactos e danos ambientais, escopo de aplicação e fatores de caracterização do método Eco-indicator 99(H)

Categoria de impacto ambiental	Categoria de dano	Escopo de aplicação	Fatores de caracterização
Mudanças climáticas	Saúde Humana	Global	Aumento de gases causadores do efeito estufa – CO _{2equ}
Depleção da camada de ozônio	Saúde Humana	Global	Aumento de substâncias degradadoras da camada de ozônio – CFC _{11eq}
Radiação	Saúde Humana	Europa	Emissões radioativas e exposição – Concentração de radionuclídeos
Respiráveis orgânicos	Saúde Humana	Europa	Emissão de poluentes orgânicos para o ar – Compostos orgânicos voláteis, material particulado
Respiráveis inorgânicos	Saúde Humana	Europa	Emissão de poluentes inorgânicos (poeira, enxofre e óxidos de nitrogênio) para o ar
Carcinogênicos	Saúde Humana	Europa	Emissão de substâncias carcinogênicas para o ar, água e solo – hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
Ecotoxicidade	Consequências Ecológicas	Europa	Aumento da concentração de substâncias tóxicas no ar, água e solo - Metais pesados, pesticidas
Acidificação /Eutrofização	Consequências Ecológicas	Holanda	Emissão de substâncias acidificadoras no ar que comprometerão a qualidade dos ecossistemas – NO _x
Uso do solo	Consequências Ecológicas	Suíça	Danos resultantes de conversão do uso e/ou ocupação do solo e diminuição de áreas naturais
Consumo de recursos minerais	Consumo de recursos naturais	Global	Energia excedente para extração de minérios; considera a concentração existente de minas
Consumo de combustíveis fósseis	Consumo de recursos naturais	Global	Energia excedente para extração de combustíveis fósseis; considera a disponibilidade existente

Fonte: Adaptado de GIANELLI, 2014; PRÉ, 2016.

Após a inserção do ICV e cálculo dos impactos ambientais no software *SimaPro*, o ciclo de vida é apresentado em um fluxograma que pode ser visualizado tanto em níveis percentuais, como em termos de pontuação, onde aparecem fluxos na cor vermelha, representando os impactos ambientais negativos, e fluxos na cor verde, representando ganhos ambientais devido a impactos ambientais positivos. Além disso, ao lado das atividades pertinentes ao ciclo de vida, aparecem barras que são denominadas “termômetros”, referindo-se à carga ambiental daquela atividade em relação ao todo, sendo uma representação gráfica da contribuição de determinado aspecto.

Além disso, apresenta uma tabela com as atividades pertencentes ao ciclo de vida e sua pontuação em termos de impacto ambiental dadas em *Point (Pt)*, unidade de saída do software. A tabela também é ilustrada na forma de gráfico, permitindo uma melhor visualização dos impactos ambientais por atividade e as categorias de impacto influenciadas.

4.3.2.6 Requisitos de qualidade de dados

Os requisitos de qualidade de dados referem-se ao período de tempo coberto, área geográfica, fontes de dados e incertezas da informação.

Em relação à área geográfica, está localizada em sua maior parte na cidade de Araçoiaba da Serra, mas abrange partes dos municípios de Salto de Pirapora e Sorocaba. O ano de 2016 foi escolhido como referência para o estudo e elaboração do inventário do ciclo de vida.

A maioria dos dados são secundários e constam do armazenamento em Sistema de Gestão Ambiental, relatórios anuais e relatórios e documentos internos, incluindo-se consumo de água, energia elétrica, combustível, alimentos fornecidos ao plantel, insumos agrícolas, destinação de resíduos, dentre outros. Dados primários foram obtidos no ano de 2016 para a inserção no inventário de ciclo de vida e posterior análise de seus potenciais impactos ambientais, correspondendo aos resíduos não reciclados (gerados na fazenda e enviados ao aterro sanitário) e aos resíduos totais gerados pela atividade de educação ambiental. Ainda, para a atividade de conservação e reprodução animal, foram levantados dados referentes ao tratamento de resíduos perigosos.

4.3.2.7 Suposições e exclusão de dados

As suposições adotadas e eventuais exclusões de dados para o estudo encontram-se descritos na modelagem dos dados do estudo de ciclo de vida.

4.4 Obtenção de dados para a elaboração do inventário do ciclo de vida das principais atividades desempenhadas pela unidade

Os dados primários referem-se aos resíduos produzidos na unidade, pois não existia um registro com a quantificação da fração não reciclada gerada no ano de 2016.

Para a atividade de educação ambiental, foi possível realizar a estimativa dos resíduos recicláveis enviados a uma cooperativa de reciclagem (papel, plástico e metal) e não reciclados (orgânico e sanitário) decorrentes da atividade de visitação, já que foram dispostos em coletores seletivos específicos. Realizaram-se pesagens semanais durante o primeiro semestre de 2016 e as mesmas foram relacionadas com o número de visitantes recebidos para que o valor obtido pudesse ser extrapolado para o ano inteiro.

Dentre todas as atividades, a de educação ambiental é a que apresenta maior sazonalidade, pois depende de inúmeros fatores, como disponibilidade financeira e temporal do município para agendar as visitas. Dessa forma, o período escolhido para a quantificação de seus resíduos já inclui as sazonalidades que possam ocorrer nos dois semestres.

Já para os resíduos não reciclados gerados pela DPR, ou seja, o resíduo semanalmente enviado ao aterro sanitário pela coleta municipal, o valor foi obtido por meio da quantificação da massa total de resíduos gerados no período de junho a dezembro de 2016 e, posteriormente, extrapolado para todo o ano. Nessa medição, não foi realizada a separação por categoria de resíduos e, por esse motivo, alguns dos resíduos presentes nessa massa foram estimados, como o isopor, o plástico e o papel.

O isopor era gerado nos finais de semana, pois fazia parte da embalagem de alimento fornecida aos funcionários que trabalhavam nesses dias. Na estimativa da geração anual desse material, quantificou-se o número de dias de finais de semana trabalhados; o número de refeições fornecidas por final de semana e a massa de uma

embalagem de isopor (40 g). A partir da multiplicação desses três fatores foi obtida a geração anual pelos funcionários.

Considerou-se, a partir de estimativa visual, que o plástico e o papel presentes nos resíduos enviados ao aterro corresponderam, cada um, a 3% do resíduo total. A fração restante (total exceto isopor, plástico e papel) foi dividida igualmente para corresponder à resíduo sanitário e resíduo orgânico, representado pelo resto de alimento produzido no refeitório.

A partir do total de resíduo não reciclado produzido pela unidade em 2016, realizou-se a divisão proporcional para as atividades administrativas, conservação e reprodução animal e produção agrícola de acordo com o número de funcionários. Apenas a fração orgânica foi dividida também para a atividade de educação ambiental, pois essa é a única fração de resíduos que os funcionários geraram fora de suas instalações, não tendo sido contemplados na quantificação específica dessa atividade.

A partir da estimativa total do resíduo não reciclado gerado ($1.418 \text{ kg ano}^{-1}$), obtiveram-se os seguintes valores: 675 kg ano^{-1} de embalagens do tipo isopor (47,6%), 42 kg ano^{-1} de papel (3%), 42 kg ano^{-1} de plástico (3%), 329 kg ano^{-1} de resíduo orgânico (23,2%) e 330 kg ano^{-1} de resíduo sanitário (23,2%).

Baseado na proporção para cada atividade, obteve-se que 50% das embalagens de isopor foram geradas pela produção agrícola, enquanto que atividades administrativas e conservação e reprodução animal ficaram com, respectivamente, 27% e 23% das gerações. Eventualmente os funcionários da educação ambiental podem receber refeições nesse tipo de embalagem, entretanto, essa estimativa foi excluída por representar um baixo número.

Para as frações papel e plástico que eventualmente não foram recicladas obtiveram-se as seguintes distribuições: 36% gerados pela produção agrícola, 46% pelas atividades administrativas e 18% pela conservação e reprodução animal.

Já para a fração orgânica, estimaram-se os seguintes valores: 33% para produção agrícola, 42% para atividades administrativas, 16% para conservação e reprodução animal e 9% para educação ambiental.

Por fim, os resíduos sanitários foram calculados e obtiveram-se as seguintes gerações: 36% pela produção agrícola, enquanto atividades administrativas e conservação e reprodução animal ficaram com, respectivamente, 46% e 18%.

Como possui SGA, a unidade dispõe de documentos com o total de resíduos recicláveis e coletados anualmente por uma cooperativa. Por não haver uma estimativa correta e fiel para a proporção desse tipo de resíduo à cada atividade avaliada, considerou-se que todo o resíduo reciclado coletado no ano de 2016, exceto a fração estimada para a atividade de educação ambiental, pertenceu às atividades administrativas.

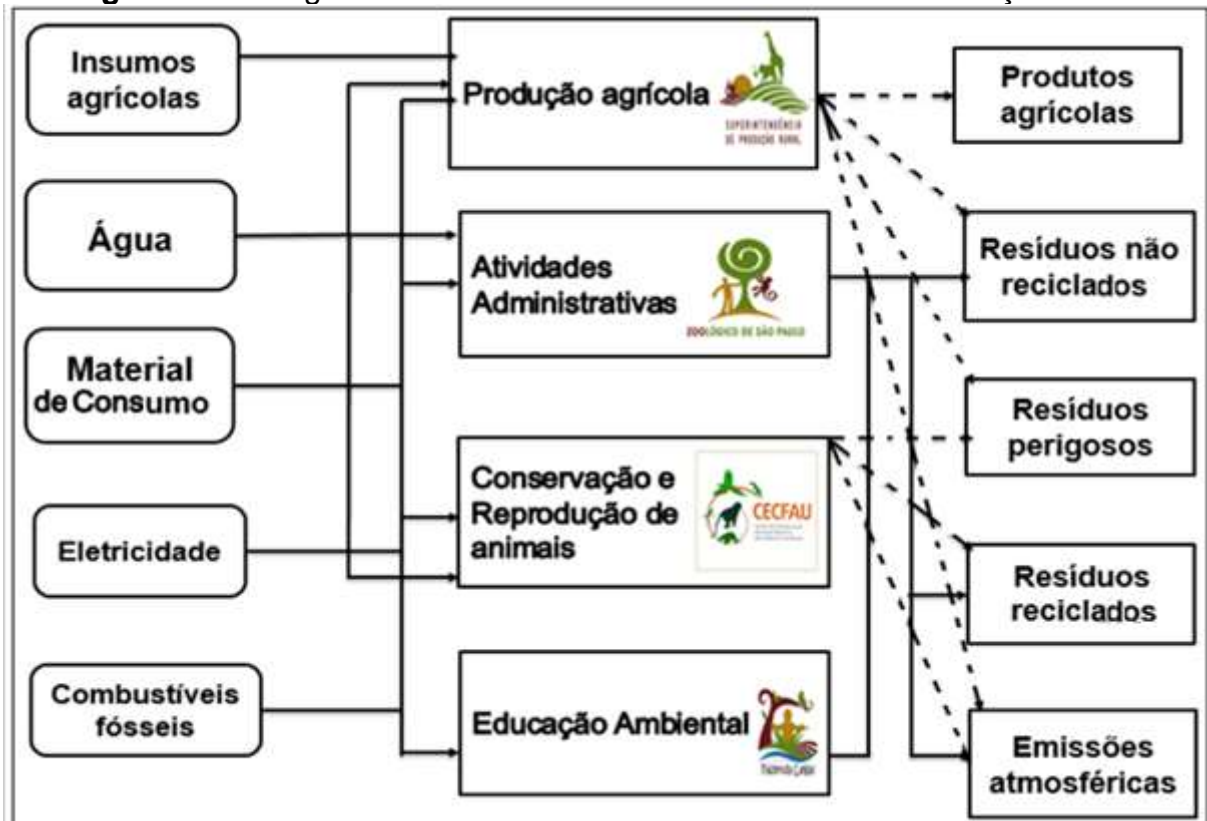
Para as atividades envolvendo logística, utilizou-se a ferramenta *Google Maps*. A partir de um registro com o nome do funcionário, endereço e tipo de veículo utilizado, utilizou-se a ferramenta citada para o cálculo da rota, em quilômetros, realizada diariamente. Esse procedimento foi repetido para as demais atividades envolvendo logística, como transporte de insumos para a produção agrícola, transporte de visitantes para a educação ambiental, dentre outras.

4.5 Modelagem do Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

Curran (2006) define quatro passos para a construção de um inventário de ciclo de vida: Desenvolvimento de um diagrama de fluxo; Definição de um plano de coleta de dados; Coleta de dados e Avaliação dos resultados.

A Figura 2 refere-se ao fluxograma da DPR, com as entradas e saídas pertinentes a cada atividade desempenhada, servindo como uma ferramenta para a construção do ICV de cada subsistema.

Figura 2 - Fluxograma de entradas e saídas da Divisão de Produção Rural.



Fonte: Autoria própria.

4.5.1 Educação Ambiental

Para a atividade de educação ambiental, foram considerados os seguintes aspectos ambientais:

- a) consumo de energia elétrica: foram consideradas as potências de lâmpadas e ventiladores, bem como a estimativa do tempo que permaneceram ligados;
- b) deslocamento de visitantes até a DPR por meio de ônibus à diesel;
- c) geração de resíduos recicláveis e não reciclados pelas visitas monitoradas;
- d) resíduo orgânico gerado pelos funcionários;
- f) transporte de funcionários internos.

Desconsiderou-se o consumo de água, pois costuma ser baixo, referindo-se à descargas sanitárias e bebedouros.

Para o cenário do destino final, calculou-se a distância total percorrida para a destinação dos resíduos recicláveis e não reciclados e correlacionou-se com a

quantidade dos mesmos, obtendo-se um valor em “tonelada.kilômetro” (t.km), necessário para a inserção no software *SimaPro*.

Para o transporte de visitantes, todas consideradas como ocorridas em ônibus escolar à diesel, foi feito o cálculo da quilometragem total percorrida a partir de registros contendo o número de visitantes, nome da escola e quantidade de visitas realizadas. Com esse registro, foi possível calcular a rota Escola-

DPR e vice-versa pela ferramenta *Google Maps*. A mesma ferramenta foi utilizada para o cálculo da rota dos funcionários, as quais ocorreram em motocicleta e ônibus.

4.5.2 Conservação e reprodução animal

Para a atividade denominada de conservação e reprodução animal, considerou-se os animais da DPR e do CECFAU, num total de 52 indivíduos silvestres. O plantel de 2016 era composto por: duas zebras-de-grevy (*Equus grevyi*); duas zebras-damara (*Equus burchelli antiquorum*); um addax (*Addax nasomaculatus*); um waterbuck (*Kobus ellipsiprymnus*); um veado-sambar (*Rusa unicolor*); quatro avestruzes (*Struthio camelus*); dois mico-leões dourados (*Leontopithecus rosalia*); 13 mico-leões-da-cara-dourada (*Leontopithecus chrysomelas*); 14 mico-leões-preto (*Leontopithecus chrysopygus*); cinco espécimes de arara-azul-de-lear (*Anodorhynchus leari*) e sete espécimes de mamíferos tamanduás-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*). Esporadicamente pode ocorrer a ida de um animal para tratamento veterinário e depois seu retorno, ou mesmo a troca de animais entre instituições, sendo o número e, conseqüentemente, a alimentação fornecida aos mesmos relativamente constantes.

Para essa atividade, foram considerados:

- a) consumos de recursos naturais água, gás de cozinha e diferentes tipos de alimentos oferecidos ao plantel;
- b) energia elétrica;
- c) geração de resíduos não reciclados;
- d) geração de resíduos perigosos, bem como os aspectos ambientais pertinentes a seu tratamento (gás natural, energia elétrica e água);
- e) transporte de funcionários externos;
- f) transporte de funcionários internos;

g) transporte de alimentos.

Para o cálculo do consumo de água, utilizou-se a metodologia executada por profissionais responsáveis pela gestão ambiental da FPZSP. Comparou-se a média gasta na DPR pelos meses de janeiro a dezembro de 2013 (cenário sem o CECFAU, com baixos usos de água para as atividades envolvendo animais) com os mesmos meses de 2016 (cenário com o CECFAU, havendo gastos maiores, inclusive com limpeza de instalações prediais e sanitários). A diferença entre essas duas médias foi a quantidade de água utilizada em cada mês pela atividade destinada a conservação e reprodução animal. Com isso, foi possível calcular a média mensal e, conseqüentemente, o gasto anual. Os anos de 2014 e 2015 foram excluídos devido a problemas de vazamentos e realização de obras, como a das instalações para o centro, não sendo representativos.

Para o consumo de eletricidade, a partir da conta total do ano de 2016 da unidade, realizou-se a subtração referente ao gasto energético calculado para as atividades administrativas, educação ambiental e produção agrícola.

O gás de cozinha (gás liquefeito do petróleo), utilizado para o preparo de alimentação dos animais, foi obtido a partir da periodicidade de compra de botijões, sendo utilizados com uma capacidade de 45L cada.

Para a alimentação fornecida aos animais, considerou-se a entrada referente à dieta de maio de 2016, constituída de frutas, carnes, oleaginosas, ovos, legumes, fibras, leite de soja, suplementos e ração, e a quilometragem anual gasta para esse transporte, obtendo-se um valor em “tonelada quilômetro” (t.km), necessária para inserção no software.

Foi considerada a visita de funcionários externos, biólogos e/ou veterinários, como sendo uma vez por mês. Essa suposição ocorreu por não existir um controle específico de visitas, apenas do total de funcionários externos que foram até a DPR, e levou em consideração a análise das rotinas da unidade para estipular as viagens. Como o centro de conservação foi inaugurado em 2015 e a unidade não contava em 2016 com veterinários, o referido ano teve visitas de especialistas para verificar a saúde e adaptação dos animais. Para o cálculo da rota, necessária como “quilômetro.pessoa” (km.pessoa) para inserção no software, considerou-se que foi percorrida por duas pessoas a cada visita. Para o transporte de funcionários internos, ocorridos em carro à etanol e gasolina e motocicleta, utilizou-se a ferramenta *Google*

Maps, tendo os funcionários utilizados os seguintes veículos: carro à etanol, carro à gasolina, motocicleta e bicicleta.

O cenário de destino final foi feito levando-se em consideração a geração de resíduos não reciclados e perigosos. O resíduo não reciclado foi obtido a partir da proporção de todo esse tipo de resíduo gerado na unidade com os funcionários da atividade específica.

Até o fim de 2016, os resíduos perigosos eram gerados em baixa quantidade, constituídos por seringas, gaze, algodão e outros instrumentos cirúrgicos que tiveram contato com animais, sendo levados por servidores à cidade de São Paulo para sua destinação final junto com os demais resíduos desse tipo da Fundação. Entretanto, tomou-se a decisão de destinar uma maior parcela de resíduo como perigoso, (constituído por sapatilhas, toucas e máscaras cirúrgicas, luvas de látex, alimentos contaminados, jornal e desinfetante) após exames realizados em alguns animais que apontaram a presença de um vírus, levando à adoção de uma medida profilática, pois não havia um consenso a respeito da gravidade do diagnóstico obtido dos exames, nem sobre sua transmissão.

Dessa forma, foi contratada uma empresa especializada para a coleta e destinação final de resíduos perigosos referentes a dois meses, os quais foram enviados para tratamento térmico (autoclave) com posterior disposição em aterro sanitário. Calculou-se o transporte necessário para o envio do resíduo até a unidade de tratamento (localizada na cidade de Sorocaba, a 36 km da DPR) e depois até o aterro sanitário (distante 22,50 km do tratamento), correlacionando a tonelada transportada e a quilometragem total percorrida para obter o valor em “t.km”.

Além dos aspectos ambientais referentes à atividade em si, levou-se em consideração os referentes ao tratamento dado aos resíduos perigosos. Dessa forma, entrou-se em contato com a empresa responsável pela coleta desses materiais para obtenção de informações a respeito do tratamento e posteriormente com a empresa fabricante do equipamento, para a obter as especificações de seu funcionamento e levantamento dos dados necessários.

Para o cálculo de luvas, sapatilhas, toucas e máscaras, pesou-se o valor unitário e estimou-se o gasto por funcionário durante os dois meses. Para o desinfetante, utilizou-se a quantidade semanal aplicada. Para seringas, considerou-se, a partir de estimativa visual, um valor de 2%, por ter havido uma geração baixa. Sabendo a massa total de material coletado e porcentagem das seringas, luvas,

sapatilhas, máscaras e desinfetante, obteve-se a porcentagem restante. Considerou-se que do faltante, metade correspondia à jornal e a outra metade ao resíduo orgânico (alimentação animal).

4.5.3 Atividades Administrativas

Para as atividades administrativas, foram considerados os seguintes aspectos ambientais:

- a) consumo de recursos naturais água e gás de cozinha;
- b) consumo de energia elétrica, em que foram consideradas as potências de equipamentos eletrônicos, ventilador e iluminação, bem como o tempo estimado em que permaneceram ligados;
- c) geração de resíduos recicláveis e resíduos não reciclados;
- d) transporte de funcionários externos, representados por aqueles que saem do zoológico de São Paulo e vão até a DPR para manutenção, vistorias, reuniões, dentre outras atividades;
- f) transporte de funcionários internos.

Os resíduos não reciclados foram obtidos a partir da proporção entre funcionários presentes nessa atividade e o valor obtido pela estimativa total para a unidade. Já os resíduos recicláveis foram obtidos de dois documentos referentes à coleta realizada por uma cooperativa de reciclagem no ano de 2016. Desse valor, retirou-se aquele quantificado para a atividade de educação ambiental, obtendo-se as seguintes frações: papel, papelão, plástico, alumínio, embalagem longa vida e garrafas do tipo PET.

Na estimativa do transporte de funcionários externos, partiu-se de dois fatores: um documento com registro de visitas de funcionários externos no ano de 2016 e a estimativa de visitas específicas para a atividade de conservação e reprodução animal. Com isso, foi estimado o número de visitas administrativas no ano de 2016, que se deram em veículos à diesel. Para o transporte de funcionários pertencentes à unidade, considerou-se os deslocamentos por carro à gasolina, carro à etanol, ônibus e motocicleta.

O consumo de água dessa atividade foi considerado como a diferença entre o total anual gasto pela unidade, obtido de por meio das contas de água, e aquele estimado para a atividade de conservação e reprodução animal.

Na a construção do cenário de destino final, considerou-se o envio de parte dos materiais à uma cooperativa de reciclagem (realizada duas vezes no ano de 2016) e parte ao aterro sanitário por meio de coleta municipal semanal. Assim, calculou-se o deslocamento percorrido por tonelada de resíduo, obtendo-se o valor em t.km.

4.5.4 Produção Agrícola

Na atividade de produção agrícola foi considerada a coleta de dados referentes à produção de cerca de 1.800 toneladas de alimentos no ano agrícola 2015 - 2016, o qual considerou os meses de junho de 2015 a maio de 2016, em uma área de, aproximadamente, 300 hectares. Esses dados foram considerados todos para o ano de 2016.

Os dados de entrada foram referentes a:

- a) consumo de recursos naturais água, diesel (gasto por uma bomba de irrigação), sementes, defensivos agrícolas e fertilizantes;
- b) consumo de energia elétrica;
- c) geração de resíduos, tanto perigosos como não reciclados;
- d) transporte de funcionários internos;
- e) atividades envolvendo logística, representadas pelos deslocamentos para entrega de insumos agrícolas (sementes, defensivos agrícolas, fertilizantes e composto orgânico), frota interna por utilitários e pequenas máquinas agrícolas, aquele originado para o armazenamento de produtos agrícolas em outra cidade, bem como o gerado pelo leilão de milho e transporte semanal de produtos agrícolas ao zoológico de São Paulo.

No cálculo da energia elétrica consumida por essa atividade, considerou-se o gasto por um silo metálico, principal fonte de consumo, e o gasto pelas lâmpadas de um almoxarifado e vestiário dos funcionários. A estimativa dos gastos com eletricidade para o almoxarifado e vestiário foi obtida a partir da potência das lâmpadas e estimativa de tempo em funcionamento. Para o silo metálico, levou-se em consideração a experiência e estimativas do engenheiro agrônomo responsável pela supervisão da atividade, onde considerou-se o tempo dos diferentes tipos de funcionamento do equipamento (como limpeza e ventilação) durante as diferentes épocas do ano (colheita e armazenamento de milho), bem como a potência dos motores instalados, obtidos do manual do equipamento.

Na estimativa do deslocamento da frota interna, considerou-se que houve um aumento de 5% em relação aos dados do ano agrícola de 2013 - 2014, obtidos por Saliba (2015). Esse aumento levou em consideração os apontamentos do autor, que pela experiência, notou aumentos baixos ao longo dos anos, já que a área agrícola se manteve praticamente a mesma. A partir dos dados, foi possível a obtenção dos consumos de combustível obtidos pelos tratores e automóveis.

A partir das compras de insumos realizadas no ano de 2016, procurou-se cada um dos fornecedores para saber o tipo de veículo utilizado, endereço de origem (para rota calculada pela ferramenta *Google Maps*) e número de viagens para a entrega de defensivos agrícolas, sementes e fertilizantes. Dessa forma, obteve-se o deslocamento total em quilômetros percorrido para a entrega de insumos e relacionou-se com as toneladas entregues, obtendo-se o valor em t.km. A base de dados *Ecoinvent* requer dados de defensivos agrícolas em quilos e os valores coletados foram em litros. Utilizou-se a FISPQ (Ficha de Informação de Segurança de Produto Químico) dos diferentes herbicidas, fungicidas, formicidas e inseticidas para o cálculo da massa pela densidade.

A unidade possui um silo localizado em uma cidade distante 98 km (além daquele em sua área) e realiza viagens para armazenamento de trigo e milho. Foram contabilizados o deslocamento total em quilômetros e as toneladas de insumos transportados, obtendo-se o valor gasto por esse tipo de transporte em t.km. O mesmo foi feito para o leilão de milho excedente, em que, a partir de registros da unidade, obteve-se a quantidade de milho leilado no ano de 2016 e o endereço dos compradores, obtendo-se os deslocamentos realizados pelos mesmos por ferramenta *Google Maps*.

Para o transporte de produtos agrícolas da DPR até o parque zoológico, calculou-se o deslocamento total percorrido no ano de 2016 e relacionou-se às toneladas de alimentos transportados, obtendo-se o deslocamento em t.km.

A unidade possui uma pequena horta, de cerca de um hectare, e que faz uso de água de poço e uma bomba à diesel. A partir dos dados de Saliba (2015), foi possível a determinação do gasto de diesel por hora dessa bomba e, a partir de dados do SGA, obteve-se o gasto em litros para o ano de 2016. A densidade do óleo diesel, para inserção no software *SimaPro* a partir da base *Ecoinvent*, foi obtida de SindiPetróleo (2015).

Os gastos com água dizem respeito à irrigação de uma horta e pulverização, obtidas de dois poços distintos. A partir de registros do SGA, obteve-se o gasto de água de poço para irrigação e o gasto para a pulverização foi obtido por meio de estimativas do engenheiro agrônomo para o ano de 2016.

No software *SimaPro*, utilizou-se a entrada de materiais a serem dispostos como resíduos, constituídos dos tipos não reciclado e perigoso para a construção do cenário de destino final.

A partir da quantificação dos resíduos não reciclados gerados na unidade, atribuiu-se o valor correspondente aos funcionários da atividade de produção agrícola e relacionou-se com a quilometragem total percorrida em um ano para a disposição final em aterro sanitário, de forma análoga aos demais subsistemas.

Para os resíduos perigosos, consideraram-se as embalagens de defensivos agrícolas, as quais foram enviados à Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente de Araçoiaba da Serra e posteriormente à Adiaesp de Taubaté, uma cooperativa responsável pelo tratamento e reciclagem desses tipos de resíduos. Para o cálculo do peso de embalagens geradas, predominantemente plástico no referido ano, entrou-se em contato com o INPEV – Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias, o qual forneceu o peso médio das diferentes capacidades de embalagens de defensivos agrícolas que foram compradas. Utilizaram-se os produtos comprados em 2016 como aqueles utilizados e descartados durante o ano, gerando resíduos.

4.6 Projeção de cenários para a unidade e diretrizes de gestão a serem tomadas para diminuição dos impactos ambientais negativos.

A partir da elaboração do ciclo de vida de cada atividade, foi possível obter o ciclo de vida global da DPR e as principais atividades causadoras de impacto ambiental. Foi, então, possível identificar qual a atividade impactou mais o funcionamento da unidade e seu aspecto ambiental, permitindo a projeção de cenários visando à diminuição desses aspectos e melhoria do desempenho ambiental.

5. RESULTADOS

5.1 Inventário do ciclo de vida (ICV)

5.1.1 Educação Ambiental

Os resíduos recicláveis e não reciclados produzidos por essa atividade no ano de 2016 corresponderam a, respectivamente, 7% e 4% do total produzido pela DPR.

Os resultados obtidos foram de que 23% dos resíduos tiveram como destino uma cooperativa de reciclagem e referiram-se, em ordem decrescente de participação, às frações papel, plástico e alumínio. Esses resíduos foram descartados pelos visitantes em coletores seletivos coloridos para a atividade e posteriormente armazenados com os demais resíduos da DPR a serem enviados para a reciclagem, sendo coletados por uma cooperativa em duas viagens no respectivo ano. Do resíduo não reciclado (77%), metade referiu-se ao resto de alimento produzido pelos funcionários. Distinguiu-se duas frações orgânicas geradas nessa atividade denominando-se “resíduo orgânico” para aquele gerado pelos funcionários e “resíduo orgânico – visitas” para o derivado das atividades de visitação.

A Tabela 2 representa o inventário de ciclo de vida para o ano de 2016 da atividade de educação ambiental.

A baixa quantificação de resíduos deveu-se, por sua vez, ao tipo de resíduo que entrou no sistema, que são aqueles para lanches, sendo que algumas vezes ocorreu a utilização de embalagens reutilizáveis e por vezes não houve tempo para o lanche dos alunos. O ano de 2016 contou ainda com poucas visitas de alunos (comparada a anos anteriores), permitindo a quantificação de resíduos apenas em alguns meses do primeiro semestre, fato esse que justifica a influência de fatores externos na obtenção dos resultados quantificados. Ainda, se tratam de visitas escolares e monitoradas, diferente do recebimento de visitantes avulsos para o entretenimento num zoológico, os quais tendem a levar uma maior variedade de materiais para o lanche e passar um tempo maior.

O consumo de eletricidade apresentou baixo valor pelo uso dever-se apenas à utilização de lâmpadas e ventiladores para o desenvolvimento de atividades de educação ambiental.

Tabela 2- Inventário do ciclo de vida da educação ambiental em 2016

Atividade	Aspecto Ambiental	Parâmetro	Quantificação	
Desenvolvimento de atividades	•Consumo de Energia Elétrica	Energia elétrica (kWh ano ⁻¹)	322,40	
	•Deslocamento de visitantes até DPR por ônibus	Quilometragem anual (km)	1105,40	
	• Quantidade anual de visitantes	Visitantes anuais (pessoas)	651,00	
	•Resíduos enviados ao aterro sanitário		Resíduo sanitário (kg ano ⁻¹)	28,00
			Resíduo orgânico (kg ano ⁻¹)	31,00
			Resíduo orgânico - visitas (kg ano ⁻¹)	3,00
			Total (kg ano ⁻¹)	62,00
			Papel (kg ano ⁻¹)	9,00
			Alumínio (kg ano ⁻¹)	2,00
	Visitação	•Resíduos enviados à reciclagem	Plástico (kg ano ⁻¹)	8,00
Total (kg ano ⁻¹)			19,00	
Ônibus (km ano ⁻¹)			21054,00	
Transporte de funcionários	•Deslocamento até DPR por veículo automotor	Motocicleta (km ano ⁻¹)	25388,00	

Fonte: Autoria própria.

5.1.2 Conservação e reprodução animal

Os resíduos gerados pela atividade de Conservação e Reprodução Animal foram categorizados como perigosos (Classe I) e não reciclados e não perigosos (Classe II), não havendo frações enviadas para a reciclagem.

O total de resíduos gerados foi de 357 kg ano⁻¹, sendo 74 kg ano⁻¹ (21%) de resíduos perigosos e 283 kg ano⁻¹ (79%) de resíduos não reciclados e não perigosos, sendo estes, representativos de 20% de todo o resíduo não reciclado produzido na DPR.

O resíduo perigoso apresentou a seguinte composição relativa: luvas látex (3,0%), máscaras, toucas e sapatilhas cirúrgicas (1,5%), jornal (41,2%), alimentos contaminados (41,3%), desinfetante (11,0%) e seringas (2,0%).

Os dados referentes aos aspectos ambientais pertinentes ao funcionamento da autoclave, utilizada para o tratamento dos resíduos perigosos, incluíram: gás natural, energia elétrica e consumo de água. Tais informações foram obtidas junto ao fabricante e responsável pelo tratamento de resíduos.

O resíduo não reciclado e não perigoso era composto de: embalagens do tipo isopor (55%), resíduo sanitário (21%), resíduo orgânico (19%), papel (2,5%) e plástico (2,5%).

A Tabela 3 representa os aspectos ambientais desse subsistema e sua quantificação para o ano de 2016, ou seja, seu inventário de ciclo de vida.

Tabela 3 - Inventário do ciclo de vida da conservação e reprodução animal em 2016

(continua)

Atividades	Aspectos Ambientais	Parâmetro	Quantificação
	• Transporte de alimentos para animais por caminhão à diesel até DPR	Caminhão à diesel (km ano ⁻¹)	1177,00
		Alimentação animal (kg ano ⁻¹)	7955,28
		Água (m ³ ano ⁻¹)	888,00
	• Consumo de recursos naturais	Gás de cozinha (kg ano ⁻¹)	270,00
	• Consumo de Energia Elétrica	Energia Elétrica (kWh ano ⁻¹)	58807,00
		Máscaras, toucas e sapatilhas (kg ano ⁻¹)	1,10
		Seringa (kg ano ⁻¹)	1,50
		Luvas látex (kg ano ⁻¹)	2,40
		Desinfetante (kg ano ⁻¹)	8,00
		Jornal (kg ano ⁻¹)	30,50
		Alimentos contaminados (kg ano ⁻¹)	30,50
	• Geração de resíduos perigosos	Total (kg ano ⁻¹)	74,00
		Energia Elétrica (kWh ano ⁻¹)	82,83
	• Consumo de recursos naturais para tratamento de resíduos perigosos	Gás natural (kg ano ⁻¹)	5,00
Manejo animal		Água (L ano ⁻¹)	250,00
		Resíduo orgânico (kg ano ⁻¹)	53,00
		Isopor (kg ano ⁻¹)	155,00
		Resíduo sanitário (kg ano ⁻¹)	59,00
		Plástico (kg ano ⁻¹)	8,00
		Papel (kg ano ⁻¹)	8,00
Atividades cotidianas	• Resíduos enviados ao aterro sanitário	Total (kg ano ⁻¹)	283,00
Transporte de funcionários externos	• Distância percorrida até DPR por veículos automotores	Carro à diesel (km ano ⁻¹)	7440,00

Tabela 3 - Inventário do ciclo de vida da conservação e reprodução animal no ano de 2016

(continuação)

Atividades	Aspectos Ambientais	Parâmetro	Quantificação
		Carro à gasolina (km ano ⁻¹)	9873,00
		Carro à etanol (km ano ⁻¹)	7040,00
Transporte de funcionários internos	•Distância percorrida até DPR por veículos automotores e bicicleta	Motocicleta (km ano ⁻¹)	30624,00
		Bicicleta (km ano ⁻¹)	1584,00

Fonte: Aatoria própria.

5.1.3 Atividades Administrativas

Essa atividade gerou, aproximadamente, 36% dos resíduos não reciclados (512 kg ano⁻¹) e cerca de 93% dos resíduos reciclados (264 kg ano⁻¹) da DPR.

Dos resíduos não reciclados, obtiveram-se as seguintes frações: embalagens do tipo isopor (36%), papel (4%), plástico (4%), resíduo orgânico (26%) e resíduo sanitário (30%). Já para os resíduos reciclados, foram obtidos os seguintes materiais: papel (32,2%), papelão (17,4%), alumínio (5,0%), plástico (22,0%), embalagens longa vida (6,4%) e embalagens do tipo PET (17,0%).

A Tabela 4 representa o inventário de ciclo de vida desse subsistema para o ano de 2016.

Tabela 4 – Inventário do ciclo de vida das atividades administrativas em 2016

Atividade	Aspecto Ambiental	Parâmetro	Quantificação
Atividades de manutenção	•Consumo de energia elétrica	Energia Elétrica (kWh ano ⁻¹)	19495,00
		Água (m ³ ano ⁻¹)	1027,00
	• Consumo de recursos naturais	Gás de cozinha (kg ano ⁻¹)	1170,00
		Isopor (kg ano ⁻¹)	182,00
		Resíduo sanitário (kg ano ⁻¹)	152,00
		Papel (kg ano ⁻¹)	20,00
		Plástico (kg ano ⁻¹)	20,00
		Resíduo orgânico (kg ano ⁻¹)	138,00
		Total (kg ano⁻¹)	512,00
	• Resíduos enviados ao aterro sanitário	Papel (kg ano ⁻¹)	85,00
Papelão (kg ano ⁻¹)		46,00	
Alumínio (kg ano ⁻¹)		13,00	
Plástico (kg ano ⁻¹)		58,00	
Embalagem longa vida (kg ano ⁻¹)		17,00	
Atividades geradoras de resíduos	• Resíduos enviados à reciclagem	Garrafas PET (kg ano ⁻¹)	45,00
		Total (kg ano⁻¹)	264,00
Transporte de funcionários externos	•Deslocamento até DPR por veículos automotores	Carro à diesel (km ano ⁻¹)	60140,00
		Carro à gasolina (km ano ⁻¹)	44572,00
		Carro à etanol (km ano ⁻¹)	29404,00
		Motocicleta (km ano ⁻¹)	20064,00
Transporte de funcionários internos	•Deslocamento até DPR por veículos automotores	Ônibus (km ano ⁻¹)	55858,00

Fone: Aatoria Própria.

5.1.4 Produção Agrícola

A área de produção agrícola gerou 593 kg de resíduos não reciclados e não perigosos, correspondendo a 40% de todo esse tipo de resíduo produzido pela DPR no ano de 2016. Esse resíduo era composto por: embalagens do tipo isopor (57%), resíduo sanitário (20%), resíduo orgânico (18%), papel (2,5%) e plástico (2,5%). Além disso, houve a geração de resíduo perigoso composto predominantemente por plástico (93,8 kg), representado por embalagens de defensivos agrícolas.

A Tabela 5 resume os dados obtidos para o inventário de ciclo de vida da atividade de produção agrícola.

Tabela 5 - Inventário do ciclo de vida da produção agrícola em 2016

(continua)

Atividade	Aspecto Ambiental	Parâmetro	Quantificação
		Herbicida (L ano ⁻¹)	1623,00
		Inseticida (L ano ⁻¹)	69,00
		Formicida (L ano ⁻¹)	25,00
		Sementes (t ano ⁻¹)	5,66
		Fertilizantes (t ano ⁻¹)	299,00
		Água para pulverização (m ³ ano ⁻¹)	80,00
		Água para irrigação (m ³ ano ⁻¹)	7,06
	• Consumo de recursos naturais	Diesel (L ano ⁻¹)	163,00
	• Consumo de energia elétrica	Energia Elétrica (Kwh ano ⁻¹)	4782,00
	• Distância percorrida para entrega de insumos até DPR por caminhão	Caminhão à diesel (km ano ⁻¹)	8547,00
	• Distância de São Paulo até DPR por caminhão para transporte de composto orgânico	Caminhão à diesel (km ano ⁻¹)	3720,00
	• Distância percorrida dentro da DPR por veículos à diesel	Veículos à diesel (km ano ⁻¹)	219437,00
Plantio	• Geração de resíduo perigoso	Embalagens de defensivos agrícolas (kg ano ⁻¹)	93,80
Transporte de produtos agrícolas	• Distância até Zoológico de São Paulo utilizando caminhão para entrega de produtos agrícolas	Caminhão à diesel (km ano ⁻¹)	24180,00
Armazenamento de produtos agrícolas	• Distância percorrida para armazenamento de produtos agrícolas utilizando caminhão	Caminhão à diesel (km ano ⁻¹)	15386,00
Leilão de milho	• Distância percorrida pelo comprador de milho até DPR por caminhão	Caminhão à diesel (km ano ⁻¹)	516,50

Tabela 5 – Quantificação dos aspectos ambientais do subsistema produção agrícola em 2016

(continuação)

Atividade	Aspecto Ambiental	Parâmetro	Quantificação
		Isopor (kg ano ⁻¹)	337,00
		Resíduo sanitário (kg ano ⁻¹)	118,00
		Papel (kg ano ⁻¹)	15,50
		Plástico (kg ano ⁻¹)	15,50
Geração de resíduos	•Resíduos não reciclados enviados ao aterro sanitário	Resto de alimentos (kg ano ⁻¹)	107,00
		Total (kg ano ⁻¹)	593,00
Transporte de funcionários internos	•Deslocamento até DPR por veículos automotores e bicicleta	Carro à gasolina (km ano ⁻¹)	9020,00
		Carro à etanol (km ano ⁻¹)	13200,00
		Motocicleta (km ano ⁻¹)	24640,00
		Ônibus (km ano ⁻¹)	25960,00
		Bicicleta (km ano ⁻¹)	1452,00

Fonte: Autoria própria.

5.2 Avaliação e Interpretação dos impactos do inventário do ciclo de vida (AICV)

5.2.1 Educação Ambiental

A Figura 3 apresenta os impactos ambientais do ciclo de vida da atividade educação ambiental, denominada de EA.

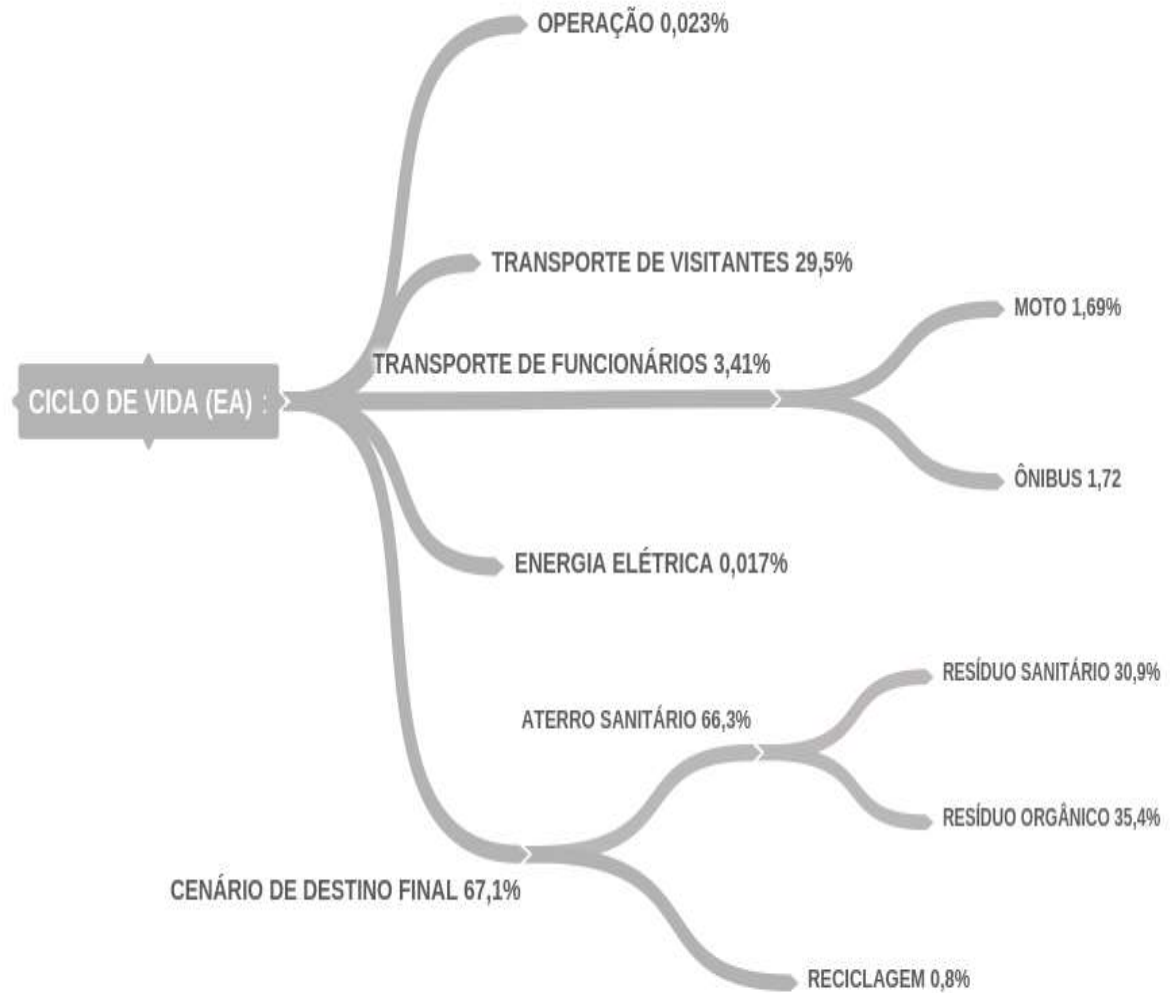
A construção desse ciclo de vida deu-se a partir da vinculação das seguintes fases: operação, transporte de funcionários internos por ônibus e moto, transporte de visitantes por ônibus à diesel, consumo de energia elétrica e a elaboração do cenário de destino final.

A fase de operação contribuiu com 0,023% de todo o ciclo de vida, onde avaliaram-se os impactos causados pelos materiais que entraram na unidade para apoiar a atividade, considerando desde a extração de matéria-prima até o momento em que chegaram à DPR (abordagem do berço-ao-portão ou *cradle-to-gate*). Tais materiais foram estimados a partir dos resíduos gerados pelos visitantes e a fração resto de alimentos gerada pelos funcionários no refeitório da unidade. Esses impactos superaram os decorrentes do consumo de energia elétrica, o qual correspondeu a 0,017%.

As atividades envolvendo a logística, como transporte de funcionários e de visitantes, foram responsáveis pela segunda maior contribuição dos impactos ambientais desse ciclo de vida, alcançando, aproximadamente, 33%. O transporte de funcionários correspondeu a 3,4%, enquanto que o de visitantes atingiu 29,5%.

O transporte de funcionários deu-se pela presença de quatro estagiários que residiam na cidade de Sorocaba e que percorriam uma distância média e diária de 26,4 km. Já as visitas ao programa de educação ambiental foram oriundas de alunos e educadores das cidades de Araçoiaba da Serra, Votorantim, Sorocaba e Sarapuí.

O raio médio de abrangência do programa de educação ambiental no ano de 2016 foi de 26 km e devido a sua missão, quanto maior o número de visitas, melhor o desempenho social, pois mais alunos e educadores serão atingidos pelas ações de educação ambiental. Logo, quanto maior o raio de abrangência, maiores a distância percorrida e os impactos ambientais.

Figura 3- Ciclo de vida da atividade de Educação Ambiental.

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

Dessa forma, fica evidente a contribuição das atividades de logística, pois mesmo que não existam visitas, existirão funcionários se deslocando diariamente, gerando impactos ambientais decorrentes de seu transporte.

Como o programa de educação ambiental é executado mediante parcerias com as prefeituras e secretarias municipais, uma medida seria a conscientização das mesmas por meio do estímulo à contratação e uso de frotas com ônibus mais novos e eficientes quanto ao uso de combustíveis, além da otimização do uso dos mesmos.

Sendo uma propriedade rural de 574 hectares, a DPR possui áreas disponíveis para plantios, além da necessidade de manter reserva legal, permitindo a neutralização do carbono e compensação das emissões de CO₂ realizadas pelo programa por meio de plantios (os quais podem ser realizados ao final do ano, no encerramento do programa) e manutenções de árvores. Trata-se de uma iniciativa com desdobramentos educacionais e ambientais (MEDEIROS; DANIEL, 2009), podendo ainda promover a re-vegetação da DPR.

Os impactos do cenário de destino final de resíduos sólidos foram avaliados desde a DPR até a disposição no aterro sanitário (abordagem portão-ao-túmulo ou *gate-to-grave*) e envio para a reciclagem. Esse cenário representou o maior impacto da EA e correspondeu a 67,1%, sendo 66,3% pela destinação ao aterro sanitário (correspondente a 77% dos resíduos gerados) e 0,8% devido à reciclagem (correspondente a 23% dos resíduos gerados).

No cenário de reciclagem eram esperados impactos ambientais positivos. Todavia, predominaram os impactos negativos devido à baixa quantidade de resíduos gerados e à logística de envio para uma cooperativa (duas viagens realizadas no ano de 2016). Uma alternativa para a redução dos impactos negativos da logística dos resíduos sólidos reciclados seria a redução para uma viagem por ano, ao invés de duas.

Avaliando-se a etapa de destinação dos resíduos sólidos ao aterro sanitário, observou-se que a logística realizada semanalmente foi a responsável pelos maiores impactos ambientais na EA (66,3%), sendo 35,4% devido ao transporte da fração orgânica e 30,9% devido ao envio de resíduos sanitários. Nesse estudo, os impactos decorrentes do aterramento dos materiais foram desprezíveis.

A relevância dos impactos relacionados ao transporte de pessoas e resíduos justifica que consumo de combustíveis fósseis tenha sido a principal categoria de impacto ambiental, atingindo 59,8% dos impactos totais da EA (Tabela 6). Em seguida

destacaram-se as categorias respiráveis inorgânicos (28,8%) e mudanças climáticas (5,6%).

Tabela 6 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida da atividade de Educação Ambiental e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos percentuais para o ano de 2016

Categoria de impacto	Operação (%)	Transporte de funcionários (%)	Transporte de visitantes (%)	Eletricidade (%)	Cenário de destino final (%)	Representatividade (%)
Consumo de combustíveis fósseis Respiráveis inorgânicos	0,01	2,14	16,85	0,01	40,74	59,75
Mudanças climáticas Acidificação/Eutrofização	0,00	0,82	9,10	0,00	18,89	28,81
Carcinogênicos Ecotoxicidade	0,00	0,22	1,55	0,00	3,86	5,63
Consumo de minerais	0,00	0,07	0,86	0,00	1,42	2,35
Uso do solo	0,00	0,06	0,40	0,00	0,57	1,03
Respiráveis orgânicos	0,00	0,04	0,34	0,00	0,46	0,84
Radiação	0,00	0,02	0,14	0,00	0,64	0,81
Depleção da camada de ozônio	0,00	0,02	0,20	0,00	0,41	0,63
	0,00	0,02	0,01	0,00	0,08	0,11
	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,03
Total	0,02	3,41	29,50	0,02	67,10	100,00

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

As categorias de impacto dividiram-se predominantemente entre cenário de destino final e transporte de visitantes. Na categoria consumo de combustíveis fósseis (59,7%), por exemplo, o cenário de destino final foi responsável por 68% dos impactos enquanto o transporte de visitantes correspondeu a 28%. Já na categoria respiráveis inorgânicos (28,8%), têm-se que o destino final foi responsável por 65%, enquanto transporte de visitantes correspondeu a 31%. Na categoria mudanças climáticas (5,6%), cenário de destino final correspondeu a uma maior porcentagem que a categoria anterior, 68%, enquanto os visitantes foram responsáveis por 27% dos impactos dessa categoria. Essas três categorias de impacto corresponderam a 94% dos impactos ambientais totais. No Apêndice, são apresentadas as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos de *Point* (Tabela 13), pontuação fornecida pelo software utilizado, na qual foi baseada a Tabela 6.

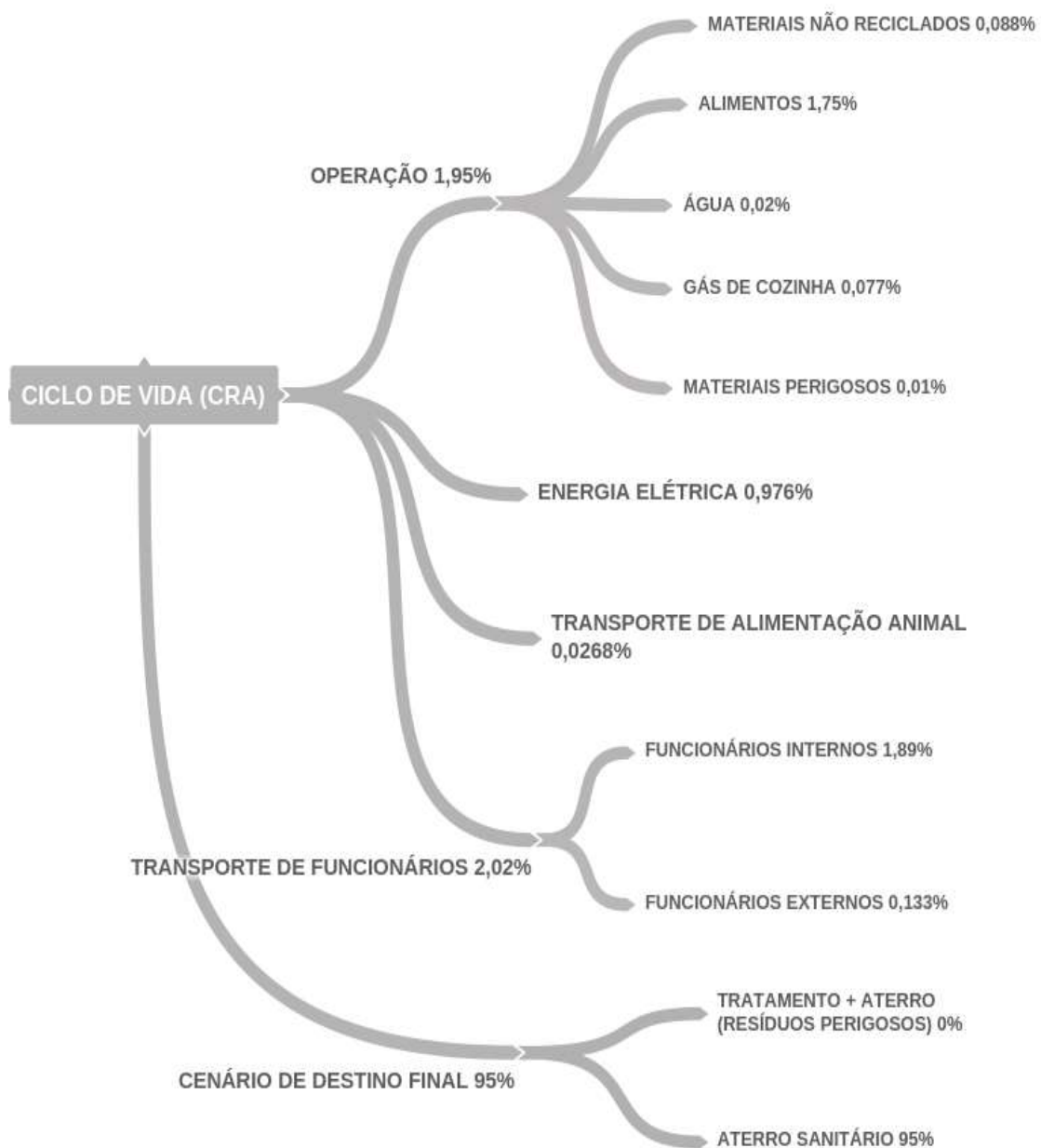
Com isso, destaca-se a influência dos transportes na construção do ciclo de vida dessa atividade e, conseqüentemente, na geração de impactos ambientais, principalmente, correspondentes à categoria de impacto ambiental consumo de combustíveis fósseis, fazendo com que a categoria de dano mais impactada fosse a de consumo de recursos naturais.

5.2.2 Conservação e Reprodução Animal

A Figura 4 permite a visualização dos impactos ambientais do ciclo de vida da atividade de conservação e reprodução animal, denominada CRA.

A construção desse ciclo de vida contou com a vinculação das seguintes fases: operação, consumo de energia elétrica, transporte de alimentação animal, transporte de funcionários internos e externos e cenário de destino final de resíduos.

O transporte de alimentos, para atender aos animais da unidade, apresentou o menor impacto no ciclo de vida da CRA (0,0268%). Em seguida teve-se o consumo de energia elétrica, a qual atingiu 0,976%, apesar do uso de dois equipamentos (câmaras de congelamento e resfriamento) que ficaram ligados 24 horas ao dia. Apesar dessa baixa representatividade, devem ser mantidos esforços para o uso consciente dos equipamentos, tendo a manutenção em dia para evitar gastos desnecessários.

Figura 4- Ciclo de vida da atividade de Conservação e Reprodução Animal.

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

O transporte de funcionários alcançou o percentual de 2,02% dos impactos ambientais, divididos em transporte de funcionários internos (0,13%) e transporte de funcionários externos (1,89%). Uma ação a ser promovida pela DPR consistiria em conscientizar seus funcionários internos sobre a importância da manutenção de seus veículos, com desdobramentos ambientais e econômicos, ressaltando-se que a existência de impactos ocorre mesmo com os funcionários residindo perto da unidade. Em relação aos funcionários externos, deve-se continuar a otimizar essas visitas, conciliando-as com outros profissionais que se deslocam até a DPR, além de analisar a possibilidade de reuniões à distância, pela Internet.

A fase de operação contribuiu com 1,95% de todo o ciclo de vida dessa atividade. Essa fase, a exemplo da EA, correspondeu aos impactos causados pelos materiais que entraram na unidade para apoiar a atividade de CRA (abordagem do berço-ao-portão ou *cradle-to-gate*). Nesse contexto, compreendeu o uso de recursos naturais água e gás de cozinha, materiais de consumo utilizados no manejo animal e alimentação fornecida aos mesmos.

O destaque da operação ficou por conta da alimentação animal (1,75% dos impactos ambientais) devido a sua quantidade, atingindo aproximadamente 8 toneladas ao ano para a manutenção de 52 animais silvestres, onde foram consideradas todas as etapas de produção dos alimentos, bem como uso de recurso naturais e insumos agrícolas.

O cenário de destino final dos resíduos sólidos foi o responsável por 95% dos impactos ambientais gerados na CRA e basicamente relacionado ao transporte dos resíduos não reciclados para o aterro sanitário. Nesses resíduos, houve o predomínio dos impactos das embalagens de isopor, geradas em alta quantidade devido à demanda por refeições entregues e ocorridas nos finais de semana na DPR.

Os resíduos perigosos foram enviados para o tratamento térmico em autoclave, com posterior envio ao aterro sanitário. Na avaliação do impacto da destinação desses resíduos, considerou-se o transporte até a unidade de tratamento, o consumo de água, de eletricidade e de gás natural para a sua transformação em resíduo não perigoso, e o seu aterramento. O baixo impacto da destinação desses resíduos deve-se a quantidade gerada, que correspondeu a 21% do total gerado na atividade.

Pela Tabela 7 é possível notar a influência de cada fase pertencente ao ciclo de vida da CRA e por categoria de impacto ambiental em termos relativos. Assim, têm-se que as principais categorias de impacto ambiental influenciadas no ciclo de vida da

atividade CRA foram: o consumo de combustíveis fósseis (61,1%), respiráveis inorgânicos (27,8%) e as mudanças climáticas (6,0%). O cenário de destino final contribuiu, respectivamente, com 95%, 97% e 93% dos impactos de cada categoria. Com isso, a categoria de dano consumo de recursos naturais foi a mais impactada nesse subsistema.

No Apêndice (Tabela 14) é possível visualizar as fases do ciclo de vida da CRA e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos da pontuação *Point*, a qual foi base para a elaboração da Tabela 7.

Tabela 7 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida da atividade de Conservação e Reprodução Animal e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos percentuais para o ano de 2016

Categoria de impacto	Operação (%)	Eletricidade (%)	Transporte de alimentação animal (%)	Transporte de funcionários (%)	Cenário de Destino Final (%)	Representatividade (%)
Consumo de combustíveis fósseis Respiráveis inorgânicos	1,14	0,34	0,02	1,38	58,18	61,07
Mudanças climáticas Acidificação/ Eutrofização	0,34	0,11	0,00	0,33	27,04	27,83
Carcinogênicos	0,19	0,10	0,00	0,15	5,51	5,95
Uso do solo	0,07	0,01	0,00	0,02	2,03	2,13
Ecotoxicidade	0,01	0,25	0,00	0,06	0,79	1,10
Consumo de minerais	0,18	0,06	0,00	0,02	0,58	0,85
Respiráveis orgânicos	0,00	0,05	0,00	0,03	0,66	0,75
Radiação	0,02	0,04	0,00	0,01	0,10	0,17
Depleção da camada de ozônio	0,00	0,00	0,00	0,03	0,11	0,13
	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02
Total	1,95	0,97	0,02	2,06	95,00	100,00

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

5.2.3 Atividades Administrativas

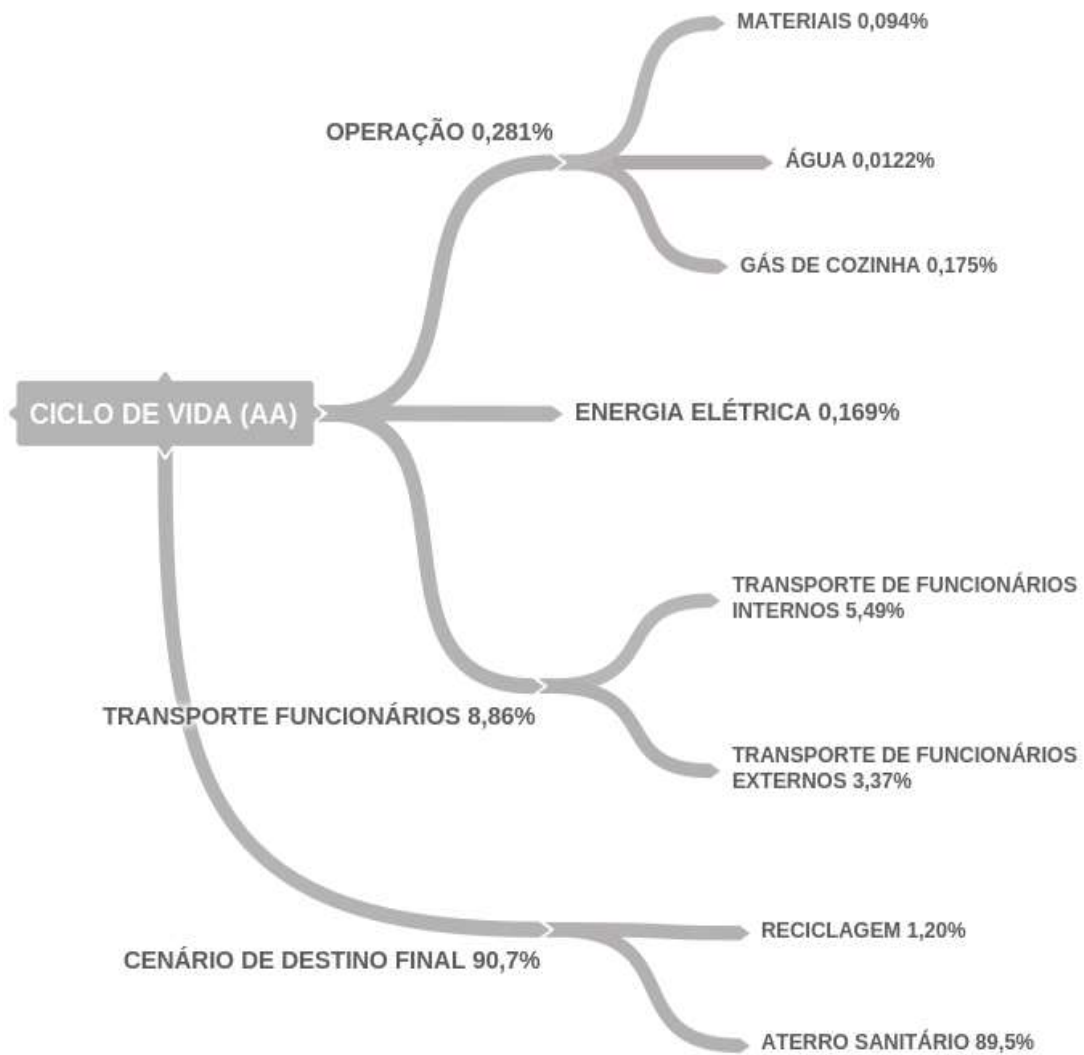
A Figura 5 apresenta os impactos ambientais do ciclo de vida das atividades administrativas, denominada AA.

A construção desse ciclo de vida deu-se a partir da vinculação das seguintes fases: operação, transporte de funcionários externos, transporte de funcionários internos, consumo de energia elétrica e cenário de destino final.

A fase consumo de energia elétrica foi a que apresentou o menor impacto ambiental do ciclo de vida das AA (0,169%), pois foi influenciada somente pelo gasto energético de equipamentos como lâmpadas, ar condicionado e outros eletroeletrônicos de baixa potência.

A fase de operação obteve um impacto ambiental relativo de 0,281% e compreendeu o uso de recursos naturais água e gás de cozinha e materiais necessários para a manutenção das atividades (alimentos, embalagens, material de consumo, entrada para escritório e material sanitário). Nessa fase, destacaram-se os impactos decorrentes da utilização de gás de cozinha (0,175%), seguido do consumo de água para o preparo de alimentos e limpeza (0,122%), englobando não somente os funcionários considerados como administrativos, mas também os demais que fazem uso das infraestruturas em comum.

Os materiais de consumo necessários para a manutenção das AA alcançaram um impacto ambiental de 0,094%, destacando-se as embalagens do tipo isopor (0,0509%).

Figura 5 - Ciclo de vida das Atividades Administrativas.

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

A logística de funcionários respondeu por cerca de 9% dos impactos ambientais das AA, sendo 3,37% devido ao transporte de funcionários externos e 5,49% pelos funcionários internos. Esses impactos levaram em consideração todos os deslocamentos e o combustível utilizado, além das etapas de construção e manutenção dos veículos e construção e manutenção de vias de rodagem.

Assim como ocorre na CRA, as viagens de funcionários externos devem continuar a ser otimizadas, reunindo-se o maior número possível de funcionários para resolução de pendências em Araçoiaba da Serra e relacionadas a todas as atividades da unidade. Como essa atividade faz mais uso de reuniões do que atividades práticas (diferente do caso da CRA) em que tanto funcionários de São Paulo vão até Araçoiaba da Serra como vice-versa, podem ser feitos esforços para que reuniões ocorram à distância, via Internet, assim economiza-se financeiramente, otimiza-se o trabalho dos funcionários, podendo ocorrer com maior periodicidade, e diminui-se o impacto ambiental.

Os funcionários internos também podem ser conscientizados a manter seus veículos sempre com manutenção em dia para terem uma maior eficiência econômica, diminuindo os impactos ambientais, assim como o incentivo para melhores hábitos na hora de dirigir.

O cenário de destino final foi aquele que apresentou os maiores impactos ambientais ao longo do ciclo de vida das AA (90,7%). Cerca de 66% dos resíduos produzidos foram enviados ao aterro sanitário, causando 89,5% dos impactos negativos; os 44% dos resíduos restantes foram enviados à reciclagem, o que levou a 1,20% dos impactos ambientais negativos do cenário, evidenciando seu caráter mitigador. A reciclagem de papelão, papel, embalagens do tipo PET e plástico contribuíram com impactos positivos, entretanto, alumínio e embalagens do tipo tetrapak apresentaram impactos negativos devido ao deslocamento até a cooperativa.

A Tabela 8 apresenta a influência relativa de cada fase pertencente ao ciclo de vida da atividade e por categoria de impacto ambiental em termos relativos.

As principais categorias de impacto ambiental influenciadas foram o consumo de combustíveis fósseis (61,19%), respiráveis inorgânicos (27,31%) e mudanças climáticas (5,81%) totalizando 94,31% de todos os impactos ambientais das AA.

Analisando-se especificamente a categoria consumo de combustíveis fósseis, 90% dos impactos decorreram do cenário de destino final (logística dos resíduos), enquanto 6% foi gerado pelo transporte de funcionários. Nas categorias respiráveis

inorgânicos e mudanças climáticas, o cenário de destino final contribuiu com 94% e 90% dos impactos, respectivamente. Com isso, a principal categoria de dano influenciada foi a de consumo de recursos naturais.

No Apêndice (Tabela 15) é possível analisar as fases pertencentes ao ciclo de vida das AA e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos de pontuação *Point*, a qual permitiu a elaboração da Tabela 8.

Tabela 8 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida das Atividades Administrativas e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos percentuais para o ano de 2016

Categoria de impacto	Operação (%)	Transporte funcionários externos (%)	Transporte funcionários internos (%)	Eletricidade (%)	Cenário de Destino Final (%)	Representatividade (%)
Consumo de combustíveis fósseis	0,24	2,25	3,51	0,06	55,14	61,19
Respiráveis inorgânicos	0,02	0,56	1,09	0,02	25,62	27,31
Mudanças climáticas	0,01	0,22	0,34	0,02	5,23	5,81
Acidificação/ Eutrofização	0,00	0,04	0,09	0,00	1,93	2,06
Carcinogênicos	0,01	0,14	0,21	0,04	1,25	1,16
Consumo de minerais	0,00	0,03	0,04	0,01	1,16	0,78
Ecotoxicidade	0,00	0,05	0,09	0,01	1,02	0,78
Uso do solo	0,00	0,08	0,11	0,01	0,90	0,75
Respiráveis orgânicos	0,00	0,00	0,01	0,00	9,13	0,12
Radiação	0,00	0,00	0,01	0,00	1,78	0,03
Depleção da camada de ozônio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00
Total	0,28	3,37	5,50	0,17	90,70	100

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

5.2.4 Produção Agrícola

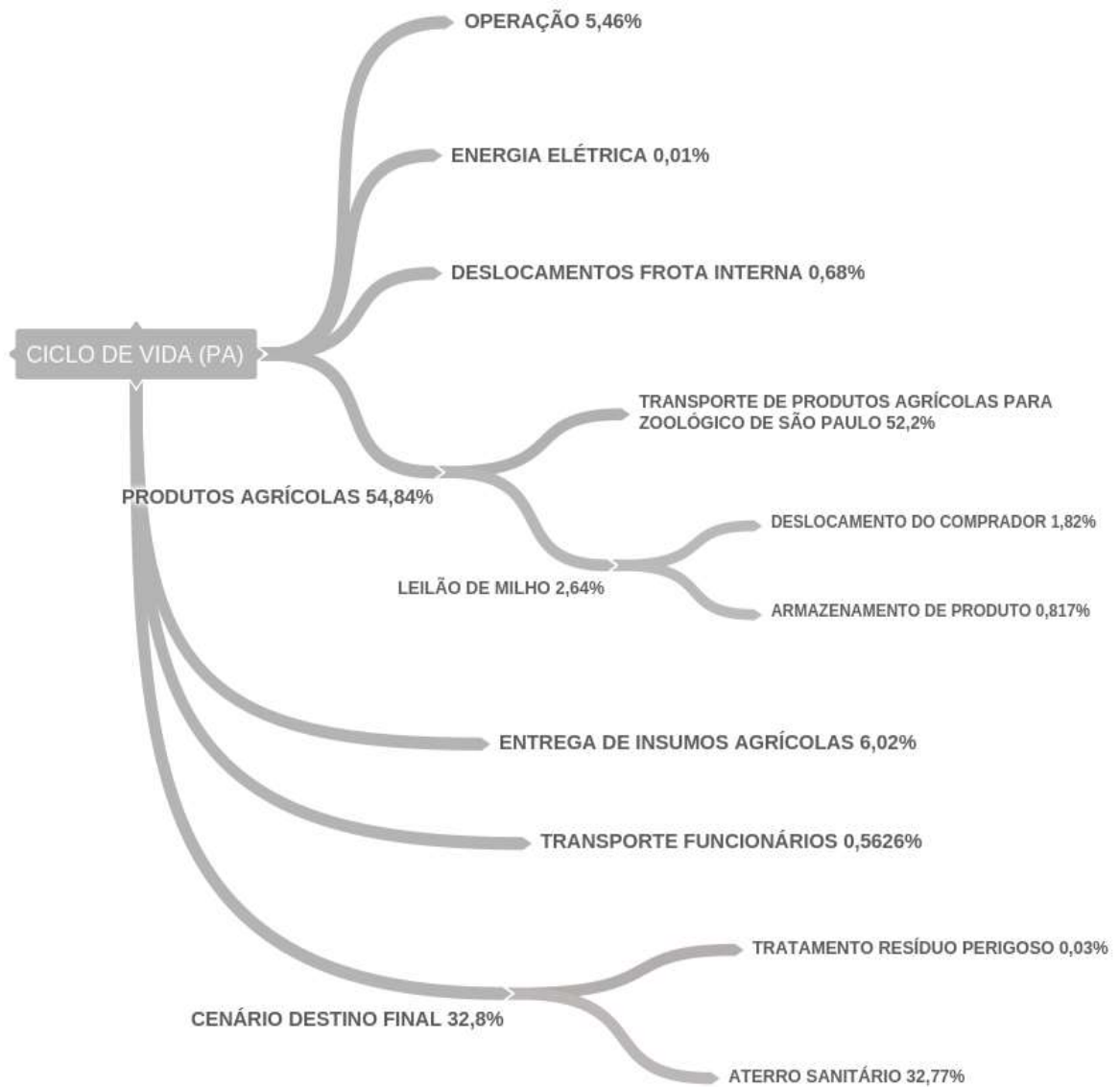
A Figura 6 refere-se aos impactos ambientais do ciclo de vida da atividade de produção agrícola, denominada PA.

A construção desse cenário levou em consideração as fases de operação, transporte dos funcionários internos, transporte de produtos agrícolas (para o Zoológico de São Paulo, decorrente do leilão de milho e para armazenamento dos mesmos), transporte para a entrega de insumos (sementes, fertilizantes, adubos e composto orgânico produzido em São Paulo), deslocamento da frota interna, consumo de energia elétrica e cenário de destino final.

A fase consumo de energia elétrica foi, mais uma vez, aquela que gerou o menor impacto ambiental do ciclo de vida (0,01%), pois a área irrigada era reduzida, assim como a potência da bomba. Em seguida, em uma ordem crescente dos impactos gerados, se destaca o transporte de funcionários (0,56%).

A fase denominada operação representou 5,46% dos impactos ambientais de todo o ciclo de vida da PA. Essa fase considerou o impacto do consumo de água para pulverização de defensivos agrícolas da lavoura, a fabricação de embalagens de defensivos agrícolas e dos insumos agrícolas, como adubos, sementes e defensivos, desde a retirada de matéria-prima da natureza até o produto chegar à DPR (abordagem berço-ao-portão, ou *cradle-to-gate*). O maior impacto originou-se dos insumos agrícolas (5,42%), o qual representou cerca de 90% dos impactos ambientais da fase de operação, devido ao fato de serem consideradas todas as etapas de fabricação dos mesmos e a elevada quantidade utilizada em um ano agrícola.

Figura 6- Ciclo de vida da atividade de Produção Agrícola.



Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

O cenário de destino final representou 32,80% dos impactos ambientais de todo o ciclo de vida da PA, contrariando a tendência observada na EA, CRA e AA, quando foi a fase na qual se observaram os maiores impactos. Nessa fase se destacou o transporte dos resíduos não reciclados para o aterro sanitário (32,70%), o que correspondeu a 99,5% dos impactos observados no cenário de destino final da PA. Como as maiores frações geradas foram embalagens de isopor e resto de alimentos, têm-se que o deslocamento das mesmas foram grandes responsáveis pelos impactos ambientais desse cenário. Assim como nas demais atividades (EA, CRA e AA), ações para a redução da geração de resíduos, constituem ações para mitigar os impactos ambientais, pois essa demanda continuará a existir e devido à distância entre a unidade e aterro sanitário, haverá impactos ambientais negativos.

As embalagens de defensivos agrícolas, predominantemente plástico no descarte de 2016, foram enviadas a uma cooperativa de reciclagem, e o seu transporte e tratamento representou 0,03% dos impactos globais.

A logística da frota interna, entrega de insumos, escoamento da produção, leilão e armazenamento do excedente produzido contribuiu para os maiores impactos observados (61,5%) ao longo de todo o ciclo de vida da PA. Nessa fase, se destacou o transporte de produtos agrícolas referente ao escoamento da produção de Araçoiaba da Serra para o Zoológico de São Paulo (52,2%). Em 2016, foi transportado um total de 590 t, em viagens com uma frequência de 3 vezes por semana, em 52 semanas do ano. Essa logística demandou um alto consumo de combustíveis fósseis e contribuiu para os impactos ambientais relacionados a esse aspecto ambiental. O transporte de insumos, incluiu as sementes, adubos, defensivos agrícolas e composto orgânico produzido no próprio zoológico de São Paulo. Esse aspecto ambiental contribuiu com 6% dos impactos da PA.

O que se faz, e deve-se continuar a fazer, é a manutenção da frota, com os necessários reparos para a garantia da eficiência ambiental e econômica dos veículos (caminhões, tratores e carros de passeio), inclusive com utilização de controle da fumaça preta como indicador de poluição e necessidade de manutenção. Os motoristas devem ser conscientizados sobre a melhor forma de dirigir, afim da garantia da eficiência dos veículos.

Pela Tabela 9 é possível comparar as fases pertencentes ao ciclo de vida da PA e sua influência nas categorias de impacto ambiental em termos percentuais. No

Apêndice, se encontra a Tabela 16 com as pontuações em *Point*, as quais foram a base para a construção da Tabela 9.

Tabela 9 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida da Produção Agrícola e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos percentuais para o ano de 2016

Categoria de impacto	Operação (%)	Eletricidade (%)	Transporte funcionários (%)	Transporte de produtos agrícolas (%)	Leilão de milho (%)	Deslocamento frota interna (%)	Transporte de insumos (%)	Cenário de Destino Final (%)	Representatividade (%)
Consumo de combustíveis fósseis	3,03	0,00	0,36	37,33	1,88	0,44	3,89	20,08	67,01
Respiráveis inorgânicos	0,83	0,00	0,12	8,91	0,45	0,11	0,93	9,33	20,69
Mudanças climáticas	0,30	0,00	0,04	3,41	0,17	0,04	0,35	1,90	6,22
Acidificação/ Eutrofização	0,04	0,00	0,01	0,68	0,03	0,01	0,07	0,70	1,54
Ecotoxicidade	0,13	0,00	0,01	0,83	0,04	0,01	0,13	0,23	1,34
Uso do solo	0,41	0,00	0,01	0,60	0,03	0,02	0,09	0,20	1,33
Carcinogênicos	0,56	0,00	0,02	0,30	0,01	0,03	0,05	0,27	1,23
Consumo de minerais	0,15	0,00	0,00	0,27	0,01	0,01	0,04	0,03	0,51
Respiráveis orgânicos	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,16	0,04	0,07
Radiação	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,28	0,01	0,06
Depleção da camada de ozônio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Total	5,46	0,01	0,56	52,39	2,64	0,68	6,02	32,80	100

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

As categorias de impacto mais influenciadas foram consumo de combustíveis fósseis (67,1%), respiráveis inorgânicos (20,69%) e mudanças climáticas (6,09%), respondendo por 93,9% do total observado na PA.

O transporte de produtos agrícolas correspondeu com 37,33%, 8,91% e 3,41% dos impactos das categorias consumo de combustíveis fósseis, respiráveis inorgânicos e mudanças climáticas, enquanto que o cenário de destino final obteve as seguintes participações, respectivamente: 20,08%, 9,33% e 1,90%. Esse resultado ressalta a importância da logística da produção agrícola e dos resíduos nos impactos ambientais gerados pela PA, implicando na categoria de dano mais influenciada ter sido a de consumo de recursos naturais.

5.2.5 Avaliação global dos impactos da Divisão de Produção Rural

A Figura 7 apresenta os impactos ambientais que contribuíram com mais de 1% para o ciclo de vida da Divisão de Produção Rural (DPR), o qual foi construído a partir dos ciclos de vidas individuais de suas atividades desempenhadas. Dessa forma, foi possível obter a atividade que mais influenciou a unidade agrícola e a consequente fase com maior significância.

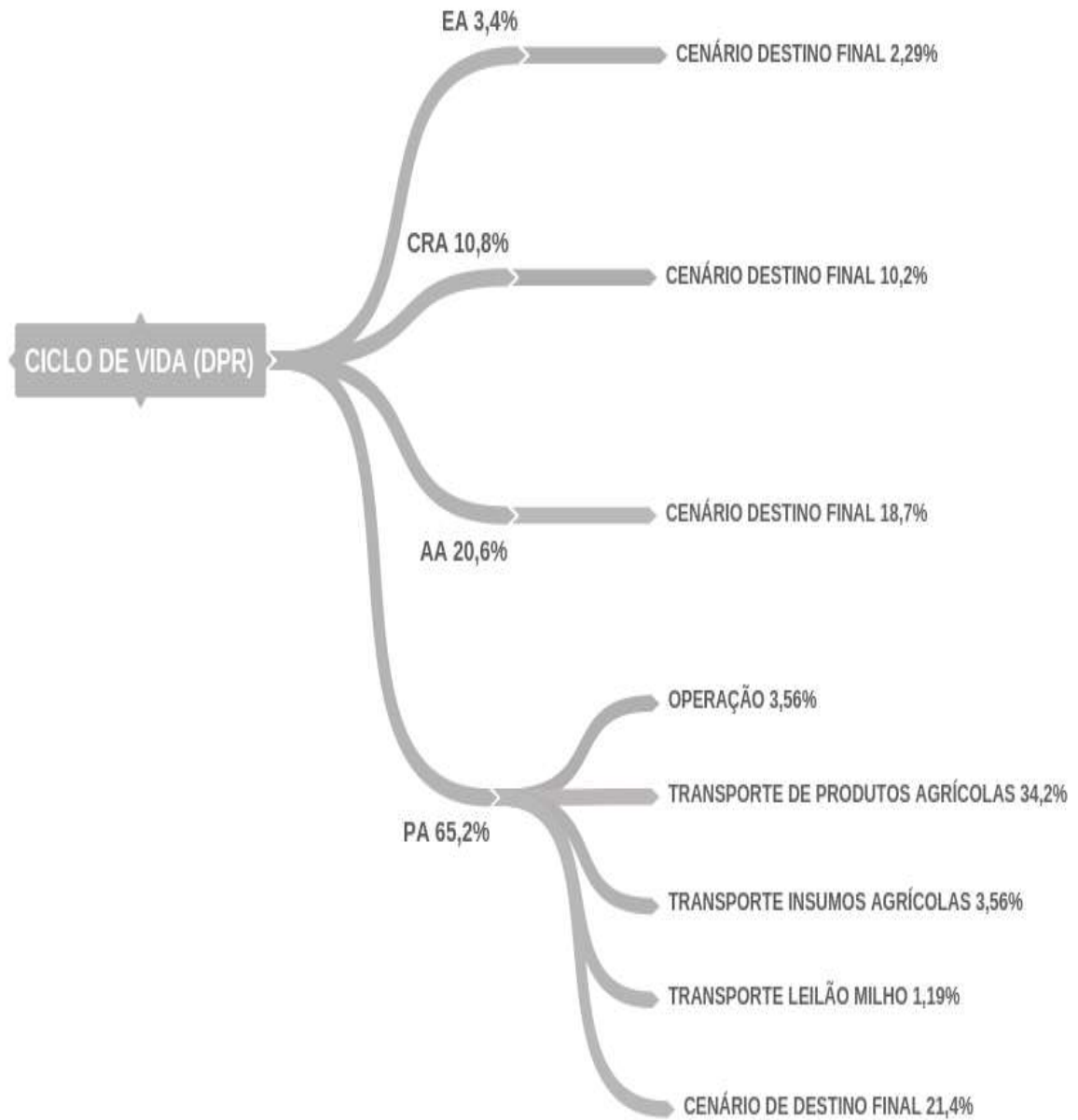
Nesse contexto, a Produção Agrícola (PA) gerou 65,2% de todos os impactos ambientais da DPR, sendo 34,2% decorrente do transporte de produtos agrícolas e 21,4% devido ao cenário de destino final, além da fase de operação, transporte para entrega de insumos e aquele decorrente do leilão de milho, que juntos somaram 8,31%.

As Atividades Administrativas (AA) contribuíram com 20,6% dos impactos ambientais da DPR, destacando-se o cenário de destino final, o qual representou 90,7% dos impactos dessa atividade e 18,7% do cenário global.

A Conservação e Reprodução Animal (CRA) atingiu 10,8% dos impactos ambientais globais da DPR, com destaque para o cenário de destino final, responsável por 95% dos impactos dessa atividade e 10,2% dos impactos totais.

A atividade que contribuiu com menos impactos ambientais foi a Educação Ambiental (EA), com um percentual de 3,4%. Nessa atividade, novamente, o cenário de destino final contribuiu com a maior parcela de impactos, 67%.

Figura 7- Ciclo de Vida da Divisão de Produção Rural (DPR) no ano de 2016.



Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

A partir da avaliação do ciclo de vida das atividades da DPR, têm-se que ações prioritárias visando à melhoria do desempenho ambiental devem ser direcionadas à PA, maior responsável pelos impactos ambientais (65,2%). Dentro dessa atividade, houve um alto impacto decorrente do transporte de produtos agrícolas, realizado semanalmente.

Benis e Ferrão (2016) ponderaram que um dos maiores impactos das atividades agrícolas corresponde ao transporte, pois os centros produtores estão distantes dos consumidores, demandando um alto deslocamento para entregas, além das atividades de logística envolvendo insumos e máquinas agrícolas utilizadas durante as etapas de plantio. Ou seja, do berço-ao-túmulo se notam as atividades envolvendo consumo de combustíveis fósseis. Dessa forma, caso a DPR não fosse o centro produtivo de produtos agrícolas à FPZSP, a demanda de transportes ainda existiria, pois precisaria de um fornecedor de alimentos e produtores que podem estar fora da cidade de São Paulo e a uma distância maior em relação à Araçoiaba da Serra, devido ao fato de ser uma unidade pertencente ao governo e as contratações priorizarem questões econômicas e não locacionais.

Além disso, observou-se a importância do cenário de destino final, o qual se destacou em todas as atividades (somando um total de 52,6% dos impactos) e demanda ações para a melhoria do seu desempenho ambiental, como a não geração e minimização da geração de resíduos.

Ripa et al. (2017) já haviam realizado estudo comparativo na gestão de resíduos sólidos concluindo que o transporte de resíduos obteve participação essencial nos impactos ambientais gerados. Nos impactos ambientais da DPR, têm-se que as longas distâncias percorridas até o aterro sanitário e cooperativa de reciclagem implicaram em altas cargas ambientais, o que fez com que os impactos do aterramento de materiais se mostrassem nulos e os impactos positivos da reciclagem, desprezíveis, quando não foram negativos devido à baixa quantidade transportada. Dessa forma, identifica-se a alta contribuição da logística de destino final de resíduos para os impactos da DPR.

Paes (2013) realizou um estudo do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos de uma cidade do interior de São Paulo, elaborando seis cenários para a gestão de resíduos. Cada cenário obteve cerca de 48% dos impactos ambientais decorrentes do transporte de resíduos, levando a categoria consumo de combustível fóssil a ser a mais impactada.

Dessa forma, entende-se que mesmo com melhorias ambientais, como aumento da reciclagem, existem os impactos negativos, pois esses materiais serão enviados a uma instalação distante do centro gerador.

Entretanto, muitas vezes, podem ser impactos menores caso se mandem todos os resíduos ao aterro sanitário.

Baseado no ICV, observou-se que as embalagens de isopor foram geradas em maior quantidade e, conseqüentemente, geraram o maior impacto ambiental, pois são materiais volumosos e que contribuem para um maior impacto decorrente do transporte (t.km) em comparação com outros materiais. Em segundo lugar, apareceram os impactos dos resíduos orgânicos, segunda maior geração na DPR.

A Tabela 10 possibilita a comparação entre as pontuações obtidas pelos ciclos de vida das quatro atividades em estudo, bem como a pontuação de cada categoria de impacto ambiental, permitindo a distinção não apenas entre as influências no ciclo de vida da DPR, mas a diferença entre as pontuações obtidas por cada atividade.

As categorias de impacto ambiental mais influenciadas nesse ciclo de vida foram consumo de combustíveis fósseis (64,92%), respiráveis inorgânicos (23,10%) e mudanças climáticas (6,09%), somando pouco mais de 94%.

A Tabela 11 representa as influências relativas de cada atividade em diferentes categorias de impacto ambiental em termos percentuais. As categorias de dano mais influenciadas foram: consumo de recursos naturais, influência na saúde humana e conseqüências ecológicas.

Tabela 10 - Contribuição das quatro atividades ao ciclo de vida da Divisão de Produção Rural (DPR) e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos de pontuação no ano de 2016

Categoria de impacto	Educação Ambiental (Pt)	Conservação e Reprodução de Animais (Pt)	Atividades Administrativas (Pt)	Produção Agrícola (Pt)	Pontuação (Pt)
Consumo de combustíveis fósseis	20898	67652	129924	450468	668943
Respiráveis inorgânicos	10109	30827	57990	139078	238004
Mudanças climáticas	1974	6590	12346	41802	62714
Acidificação/ Eutrofização	823	2357	4374	10366	17922
Carcinogênicos	362	1222	2453	8270	12309
Ecotoxicidade	294,69	826	1649	9017	11787
Uso do solo	217	940	1591	8962	11712
Consumo de minerais	279	189	1666	3423	5559
Respiráveis orgânicos	38	145	246	443	874,73
Radiação	10	27	65	373	478
Depleção da camada de ozônio	1	4	9	31	47
Total	35012	110786	212317	672239	1030355

Fonte: SimaPro 7.3.0

Tabela 11 - Contribuição dos quatro subsistemas ao ciclo de vida da DPR e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos percentuais

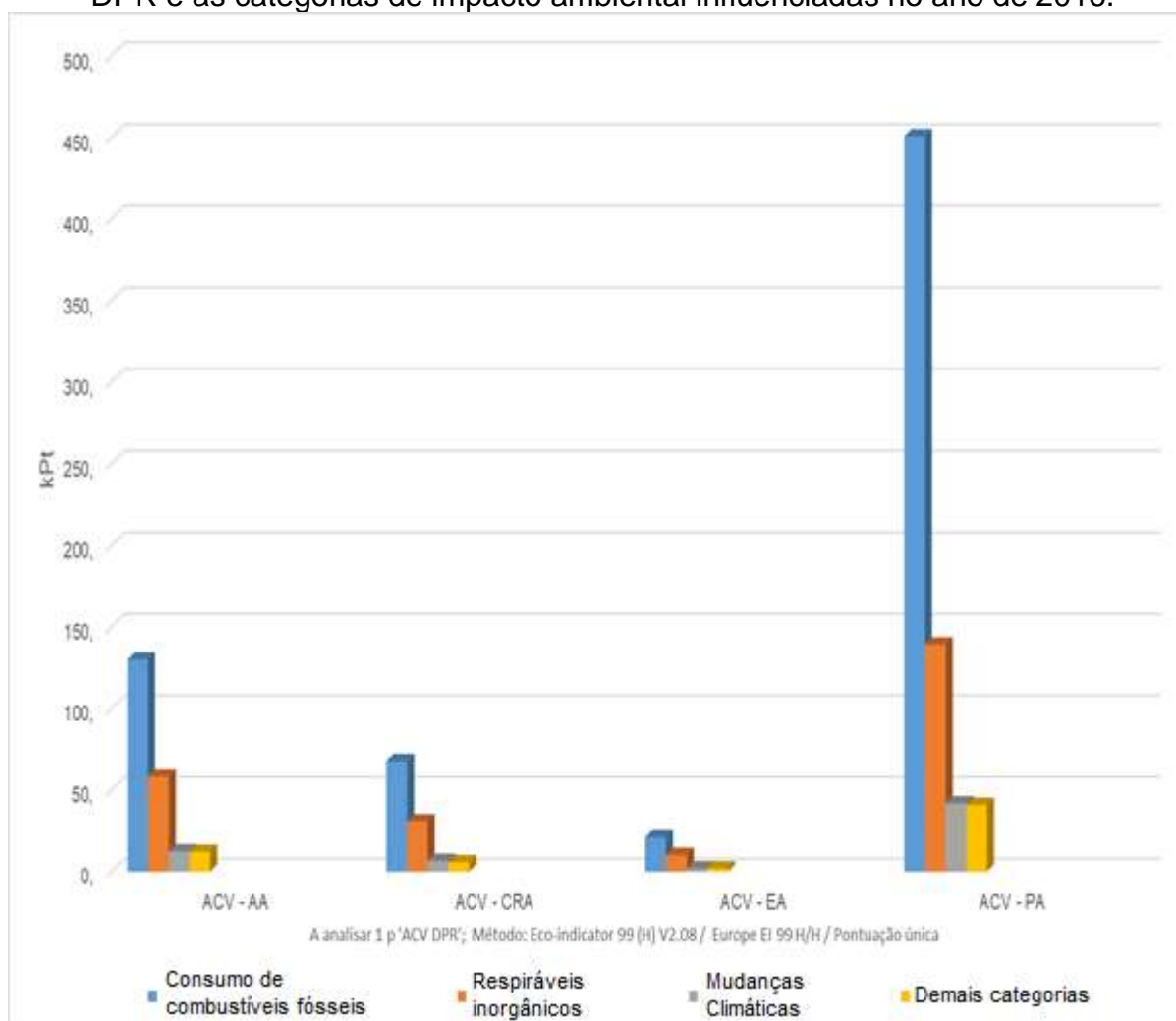
Categoria de impacto	Educação Ambiental (%)	Conservação e Reprodução Animal (%)	Atividades Administrativas (%)	Produção Agrícola (%)	Representatividade (%)
Consumo de combustíveis fósseis	2,03	6,57	12,61	43,72	64,92
Respiráveis inorgânicos	0,98	2,99	5,63	13,50	23,10
Mudanças climáticas	0,19	0,64	1,20	4,06	6,09
Acidificação/ Eutrofização	0,08	0,23	0,42	1,01	1,74
Carcinogênicos	0,04	0,12	0,24	0,80	1,19
Ecotoxicidade	0,03	0,08	0,16	0,88	1,14
Uso do solo	0,02	0,09	0,15	0,87	1,14
Consumo de minerais	0,03	0,02	0,16	0,33	0,54
Respiráveis orgânicos	0,00	0,01	0,02	0,04	0,08
Radiação	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05
Depleção da camada de ozônio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	3,40	10,75	20,61	65,24	100

Fonte: SimaPro 7.3.0

A Figura 8 permite a comparação gráfica entre os quatro ciclos de vida constituintes da DPR, refletindo as diferenças de pontuações entre as atividades.

Nota-se a elevada pontuação atingida pela PA em comparação às demais atividades: as AA apresentaram 32% da pontuação obtida pela PA, enquanto CRA e EA apresentaram, respectivamente, 17% e 5,1%.

Figura 8 - Comparação gráfica entre o ciclo de vida das diferentes atividades da DPR e as categorias de impacto ambiental influenciadas no ano de 2016.



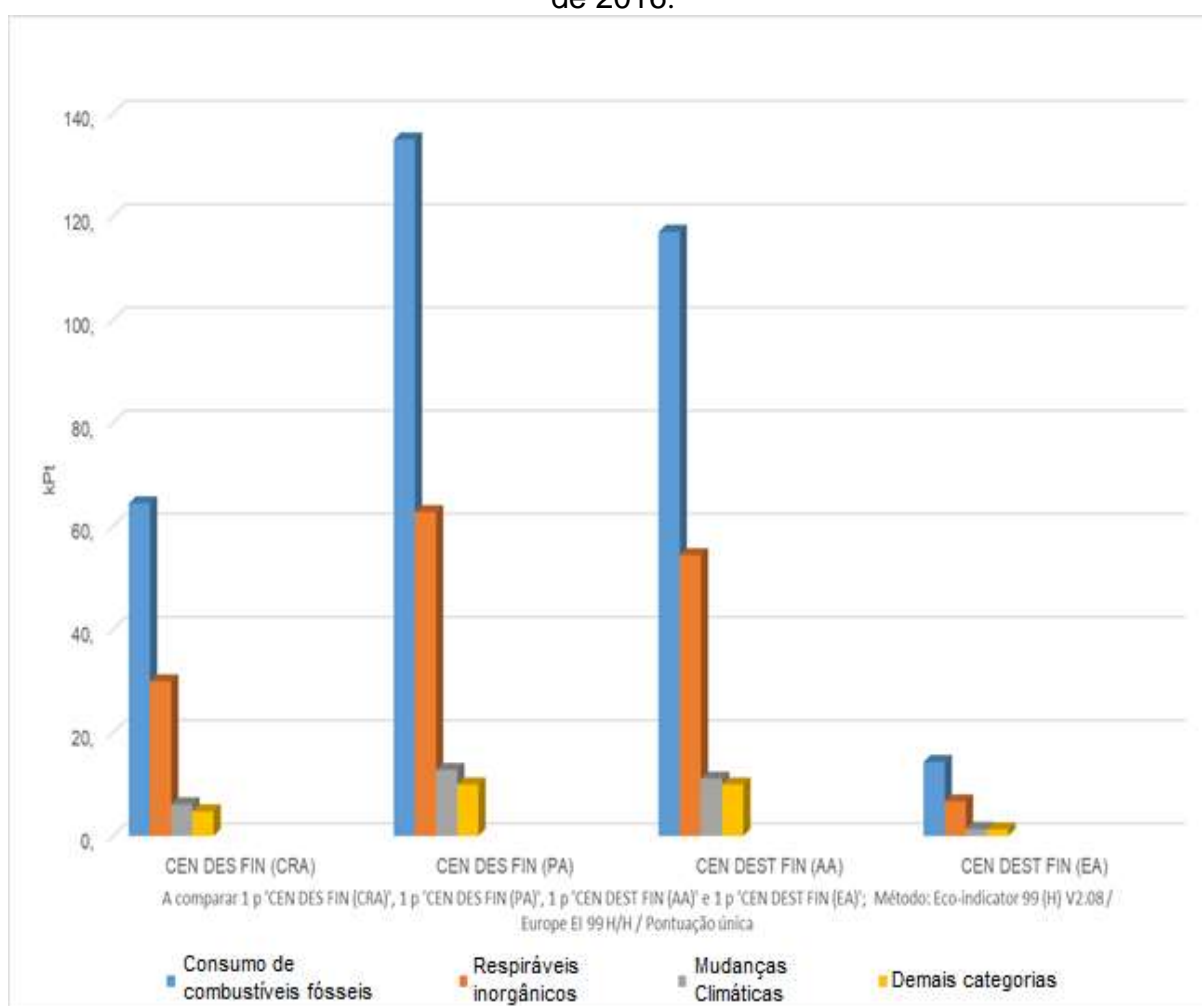
Fonte: *SimaPro 7.3.0*

Nota: Demais categorias: respiráveis orgânicos, carcinogênicos, depleção da camada de ozônio, radiação, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização, uso do solo e consumo de minerais.

A Figura 9 traz uma comparação entre os cenários de destino final das diferentes atividades e as categorias de impacto ambiental influenciadas em termos de pontuação. Com isso, é possível notar a pontuação obtida pela atividade de PA (220.466 Pt), superior às demais e correspondendo à atividade com a segunda maior

geração de resíduos sólidos, constituídos das frações perigosos e não reciclados (687 kg ano⁻¹). Em segundo lugar, aparecem as AA (192.538 Pt), as quais geraram a maior quantidade de resíduos da DPR (776 kg ano⁻¹), composto pelas frações não reciclada e reciclada. O resíduo perigoso da PA demandou uma logística maior que a fração reciclada das AA, por isso a produção agrícola apresentou um cenário de destino final maior, mesmo não sendo a maior geradora de resíduos.

Figura 9 – Comparação gráfica entre os diferentes cenários de destino final das atividades da DPR e as categorias de impacto ambiental influenciadas no ano de 2016.



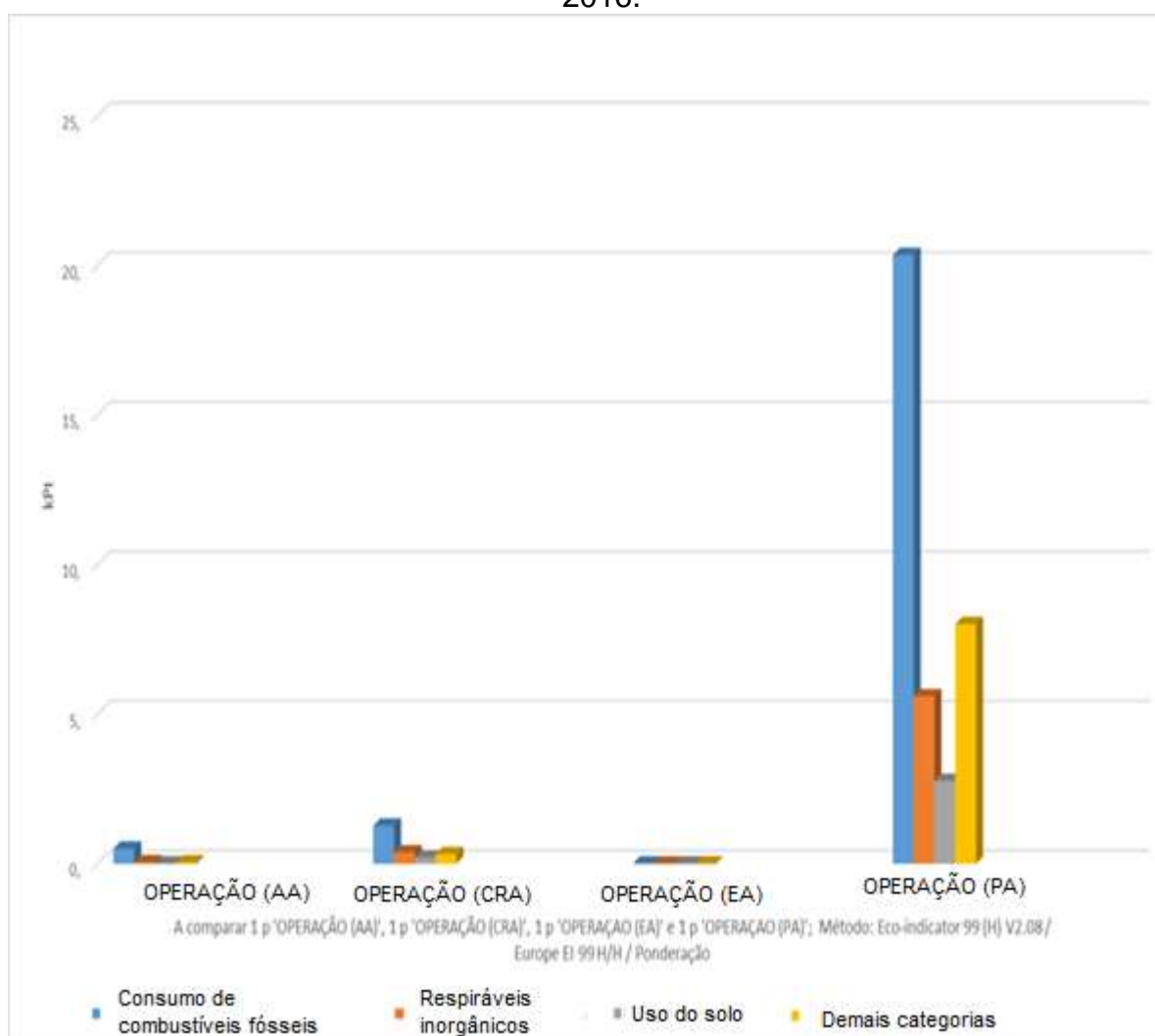
Fonte: SimaPro 7.3.0

Nota: Demais categorias: respiráveis orgânicos, carcinogênicos, depleção da camada de ozônio, radiação, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização, uso do solo e consumo de minerais.

A Figura 10 permite uma comparação entre as fases de operação das quatro atividades analisadas e as categorias de impacto influenciadas.

Nota-se que a PA foi a atividade com maior pontuação na fase operação (36.709 Pt) seguida pela CRA (2.155 Pt). Isso deveu-se pelas atividades levarem em consideração o uso de insumos agrícolas (defensivos agrícolas, fertilizantes e sementes) e alimentos oferecidos ao plantel animal, os quais tiveram todo seu ciclo de vida levado em consideração (abordagem berço-ao-portão ou *cradle-to-gate*). Nota-se também a participação da categoria de impacto uso do solo como a terceira maior influenciada, deslocando a de mudanças climáticas para a quarta colocação.

Figura 10 – Comparação gráfica entre as diferentes fases de operação das atividades da DPR e as categorias de impacto ambiental influenciadas no ano de 2016.



Fonte: SimaPro 7.3.0

Nota: Demais categorias: mudanças climáticas, respiráveis orgânicos, carcinogênicos, depleção da camada de ozônio, radiação, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização e consumo de minerais

6. PROJEÇÃO DE CENÁRIOS PARA A DPR

A atividade que influenciou a maior parte dos impactos ambientais da DPR foi a produção agrícola, devido ao transporte semanal de produtos agrícolas ao zoológico de São Paulo. Esse transporte, realizado semanalmente, contribuiu isoladamente com 34,2% dos impactos ambientais globais. Ainda, serve como um transporte de documentos, materiais e alimentos aos animais da DPR, excluindo um transporte a parte para esses aspectos.

A demanda por produtos agrícolas sempre existirá e caso a DPR não os produza mais, haverá a busca por outros produtores, os quais podem estar até mais distantes da FPZSP. Assim, justifica-se a necessidade de manutenção da frota interna para a garantia da eficiência ambiental e econômica dos veículos, inclusive com utilização de controle da fumaça preta como indicador de poluição e necessidade de manutenção. Os motoristas devem ser conscientizados sobre a melhor forma de dirigir, a fim da garantia da eficiência dos veículos.

A gestão dos resíduos sólidos da DPR, considerando as quatro atividades avaliadas (CRA, PA, AA e EA) correspondeu a 52,6% dos impactos ambientais da unidade, o que justifica a promoção da prevenção, redução, reutilização e reciclagem de resíduos, em concordância com a Lei Federal nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010).

A maior fração de resíduo gerado foi a embalagem do tipo isopor. Uma alternativa seria a troca dessas embalagens por outras, recicláveis ou reutilizáveis. Essa ação envolve não apenas a direção da unidade, como a disponibilidade do fornecedor de refeições e consequentes impactos econômicos.

Nos zoológicos de *Granby*, no Canadá, e os estadunidenses *National Zoo* e *Virginia Living Museum*, as embalagens de isopor foram banidas de suas lanchonetes e restaurantes visando a melhoria de seus aspectos ambientais (REISFELD, 2012).

A segunda maior geração de resíduo não reciclado foi o resto de alimentos resultante do refeitório dos funcionários, havendo a oportunidade do não envio ao aterro sanitário e optando-se pela compostagem na própria DPR.

O zoológico de São Paulo possui a Unidade de Produção de Composto Orgânico – UPCO, que no ano de 2016 produziu 260 m³ de composto orgânico a ser utilizado tanto no parque como na DPR. Esse composto foi gerado a partir da compostagem de todos os resíduos orgânicos produzidos, tanto de funcionários e

visitantes, como carcaça e fezes de animais e os decorrentes da varrição (RAMOS et al., 2016).

O resíduo orgânico produzido pelos funcionários da DPR tem um potencial para uso na compostagem, transformando-se em fonte de nutrientes para as áreas verdes da própria unidade e evitando seu envio ao aterro sanitário. Essa é uma opção que não envolve custos econômicos significativos, inclusive para infraestrutura, pois podem ser utilizadas áreas próximas, não constituindo um aumento considerável do deslocamento da frota interna, além de utilizar máquinas agrícolas e mão-de-obra já disponíveis na DPR.

Dessa forma, realizou-se uma projeção de 4 cenários para identificar aquele que resultaria em diminuições significativas de impactos ambientais:

Cenário 1: Toda a fração orgânica produzida no refeitório (330 kg ano^{-1}) é enviada à compostagem ao invés de ser destinada ao aterro sanitário;

Cenário 2: Captação e reaproveitamento de 1.409 m^3 de água da chuva por meio da utilização de um galpão utilizado para a atividade de produção agrícola. A partir de registros da própria unidade sobre a pluviosidade no ano de 2016, calculou-se a água captada pelo telhado e estimou-se que 80% seria reaproveitada. Esse reaproveitamento representaria cerca de 73,5% do consumo do recurso no referido ano, diminuindo significativamente o uso de recursos naturais para fins não potáveis;

Cenário 3: Considerou-se uma única coleta anual de resíduos recicláveis pela cooperativa de reciclagem, ao invés de duas, pois além de espaço disponível para o armazenamento desse material, existe a possibilidade de transportá-lo até postos de entrega voluntária (PEV) por meio do carro da unidade. Esse veículo se desloca diariamente para Araçoiaba da Serra e passa, eventualmente, por locais onde os resíduos possam ser entregues, sem aumentar significativamente o seu deslocamento. Para fins de documentação no SGA, cada vez que os resíduos saíssem da unidade, deveriam ser pesados e ter sua saída registrada.

Cenário 4: Troca de lâmpadas atuais pelas do tipo LED (*Light Emitting Diode*). A partir de estimativas de Principi e Fioretti (2014), a eficiência luminosa desse tipo de lâmpada é cerca de 55% maior que lâmpadas fluorescentes, representando diminuições de impactos ambientais da ordem de 31-55%. Herder e Streiter (2010), em seu guia para implementação da sustentabilidade em zoológicos, também ponderaram os benefícios das lâmpadas mais econômicas.

A Tabela 12 apresenta as pontuações dos cenários propostos, bem como o cenário original construído para o ano de 2016 e as respectivas categorias de impacto ambiental influenciadas:

Tabela 12 – Comparação da pontuação entre diferentes cenários para a DPR com o ciclo de vida construído para 2016.

Categoria de impacto	Cenário Original (Pt)	Cenário 1 (Pt)	Cenário 2 (Pt)	Cenário 3 (Pt)	Cenário 4 (Pt)
Consumo combustíveis fósseis	668943,99	604051,64	668931,65	668943,80	668911,31
Respiráveis inorgânicos	238004,87	207843,97	237995,33	238004,82	237994,18
Mudanças climáticas	62714,39	56571,77	62711,19	62714,37	62704,41
Acidificação/ Eutrofização	17922,03	15653,05	17921,57	17922,02	17921,45
Carcinogênicos	12309,40	11437,47	12302,59	12309,39	12285,73
Ecotoxicidade	11787,58	11052,27	11786,60	11787,58	11782,54
Uso do solo	11712,61	11061,33	11711,18	11712,61	11706,56
Consumo de minerais	5559,43	5452,72	5558,94	5559,43	5555,51
Respiráveis orgânicos	874,73	750,22	874,72	874,73	874,71
Radiação	478,10	453,66	477,90	478,10	477,94
Depleção da camada de ozônio	47,55	42,95	47,55	47,55	47,55
Total	1,03 x 10⁶	9,24 x 10⁵	1,03 x 10⁶	1,03 x 10⁶	1,03 x 10⁶

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

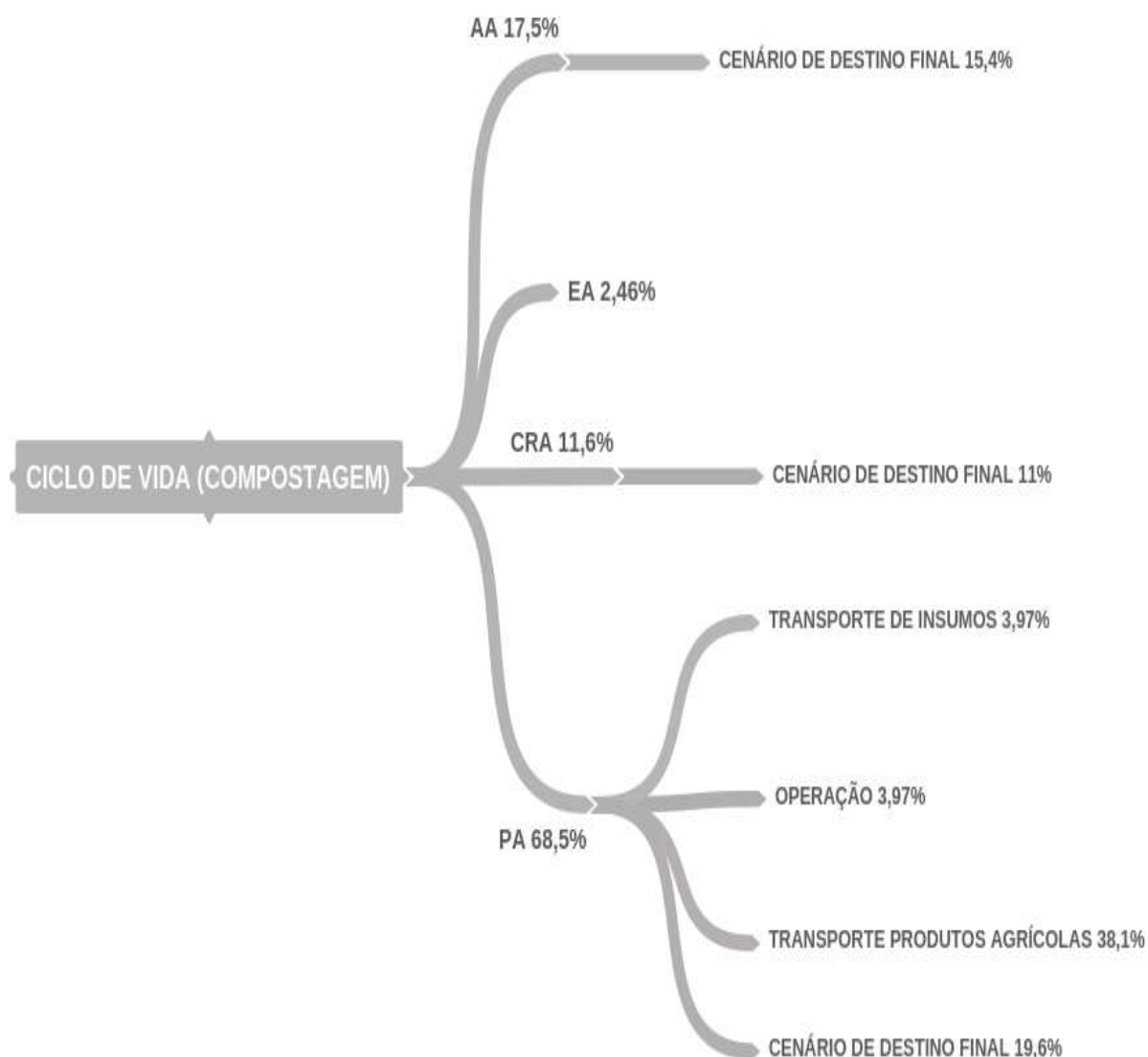
A partir da Tabela 12, têm-se que o cenário envolvendo a compostagem consistiu na principal medida para a mitigação de impactos ambientais negativos, representando uma diminuição de, aproximadamente, 10,3%, além de uma opção que não envolve custos significativos e que pode ser aplicada de imediato. Ao contrário da reciclagem, que implicaria em cargas ambientais decorrentes do deslocamento de resíduos, essa prática não demanda deslocamentos significativos, pois o composto seria disposto dentro da unidade territorial da DPR.

A Figura 11 representa o ciclo de vida da DPR com a utilização da compostagem, deixando de enviar a fração orgânica ao aterro sanitário.

Novamente, a atividade de Produção Agrícola seria a principal responsável pelos impactos ambientais do ciclo de vida da unidade, com 68,5% frente a 65,2% dos impactos do ciclo original. Isso decorre da maior pontuação obtida pelas demais atividades envolvendo logística, como o deslocamento de produtos agrícolas, que passariam a representar 38,1% dos impactos globais, apesar da diminuição da logística de resíduos.

As Atividades Administrativas passariam a influenciar com 17,5% frente a 20,6% do ciclo original; Conservação e Reprodução Animal passaria a representar 11,6% e Educação Ambiental 2,4% frente a 10,8% e 3,4%, respectivamente, do ciclo construído para o ano de 2016, representado pela Figura 7. Além disso, os cenários de destino final de todas as atividades passariam a representar cerca de 46% dos impactos totais, frente aos 52,6% da não utilização de compostagem.

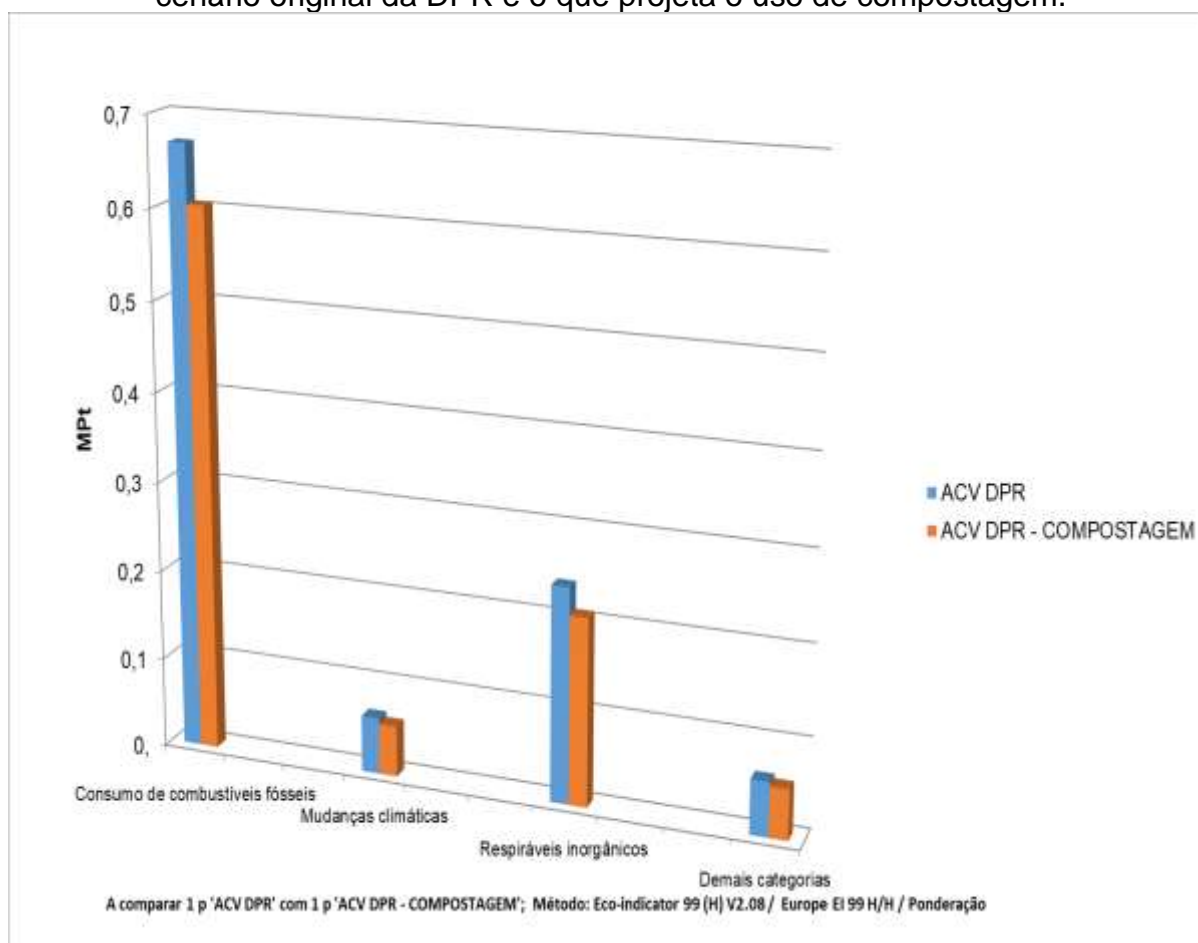
Figura 11 – Avaliação do ciclo de vida da DPR com utilização de compostagem para os resíduos orgânicos.



Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

A Figura 12 traz uma comparação gráfica entre as categorias de impacto ambiental mais influenciadas pelo ciclo de vida original do ano de 2016 e aquele que faria uso da compostagem. Nessa figura, pode-se observar as reduções significativas nas categorias consumo de combustíveis fósseis, mudanças climáticas e respiráveis inorgânicos, principalmente devido à diminuição da “tonelada quilômetro” do resíduo orgânico transportado, mudanças climáticas e respiráveis inorgânicos, todas relacionadas a atividades que envolvem logística.

Figura 12 - Representação gráfica das categorias de impactos ambientais do cenário original da DPR e o que projeta o uso de compostagem.



Fonte: *SimaPro 7.3.0*

Nota: Demais categorias: respiráveis orgânicos, carcinogênicos, depleção da camada de ozônio, radiação, ecotoxicidade, acidificação/eutrofização, uso do solo e consumo de minerais.

A partir da Tabela 12, os ciclos de vida com captação de água da chuva, troca de lâmpadas atuais pelas do tipo *LED* e adoção de apenas uma viagem para a retirada de materiais recicláveis apresentam a mesma pontuação do cenário original, entretanto, isso ocorre porque os maiores impactos advêm do transporte de resíduos e produtos agrícolas, que não foram modificados. Dessa forma, a alta pontuação já obtida por tais aspectos encobre as diminuições das demais práticas que podem ser adotadas pela DPR.

Como se trata de uma unidade com SGA e certificação ISO 14.001, as demais práticas devem ser consideradas para o aprimoramento do sistema.

Com base no consumo de água da unidade e assumindo que 80% do valor correspondente à pluviosidade de 2016 seria captado, tem-se a necessidade de um

reservatório de 111 m³ devido ao acúmulo no primeiro trimestre do ano. Medeiros et al. (2012) estimaram o custo e o tempo de retorno do investimento na construção de um reservatório para armazenar a água da chuva de uma instituição de ensino superior, atendendo a demanda de água não potável de 1.100 consumidores. O custo da construção de um reservatório de 130 m³ para suprir a essa demanda variou de R\$ 45.500 a R\$ 62.000,00 e o tempo de retorno do investimento variou de 23 a 30 meses. Dessa forma, caso a DPR implante essa ação, têm-se um tempo de retorno de, aproximadamente, dois anos e meio, propiciando uma diminuição anual de 73,5% do consumo recurso natural água.

Já para a troca de lâmpadas atuais pela do tipo LED, Principi e Fioretti (2015) chegaram à redução de cerca de 55% do consumo de eletricidade, enquanto que Santos et al. (2015) obtiveram que para troca de uma lâmpada fluorescente pela do tipo mais econômica, o tempo de retorno de investimento é de 5 meses. Ribeiro et al. (2017), por exemplo, chegaram a um tempo de retorno de dois anos e cinco meses para a troca de 631 lâmpadas fluorescentes para as do tipo LED.

Destaca-se a opção de troca gradual das lâmpadas existentes na unidade, ao passo em que forem queimando e se tornando inutilizáveis, pois assim continua-se utilizando-se a vida útil das lâmpadas em funcionamento e diluindo os gastos com as trocas, se mostrando um investimento tanto em termos econômicos como ambientais.

7. CONCLUSÃO

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta que demonstrou de modo satisfatório os potenciais impactos ambientais do ciclo de vida da Divisão de Produção Rural, bem como os aspectos com maior contribuição. Entretanto, devem-se considerar as incertezas introduzidas, por menor que sejam, devido à utilização de banco de dados e método de cálculo de impacto ambiental europeus. Além disso, destaca-se a oportunidade de associação com outras ferramentas que levem em consideração os aspectos sociais e econômicos, não abordados pela ACV.

A construção do ciclo de vida da DPR permitiu um diagnóstico dos aspectos e impactos ambientais dessa unidade multifuncional, gerados por quatro atividades: educação ambiental, conservação e reprodução animal, produção agrícola e atividades administrativas. Tal diagnóstico possibilitou identificar que a atividade de produção agrícola influenciou cerca de 65% dos impactos ambientais do ciclo de vida

da DPR no ano de 2016, destacando-se aqueles gerados pelo transporte de produtos agrícolas da unidade, em Araçoiaba da Serra, até o parque zoológico, na cidade de São Paulo.

Já nas atividades de educação ambiental, conservação e reprodução animal e atividades administrativas, observou-se que o cenário de destino final foi o responsável pela geração dos maiores impactos ambientais ao longo do ciclo de vida, destacando-se o transporte de resíduos sólidos até o aterro sanitário.

Somando-se todos os cenários de destino final, obtiveram-se, aproximadamente, 53% dos impactos totais. Dentro desses cenários, notou-se a influência integral do deslocamento de resíduos, principalmente resíduo orgânico e embalagens de isopor, devido à alta geração.

Dessa forma, a avaliação do ciclo de vida permitiu a elaboração de diretrizes de gestão para a redução dos impactos ambientais, quando se recomendou um cenário de compostagem dos resíduos orgânicos como a principal alternativa para a melhoria do desempenho ambiental da DPR. Favorece tal cenário a disponibilidade de área, máquinas agrícolas e pessoal para implementar a compostagem e utilizar o composto na própria unidade, o que poderá resultar na diminuição de 10,3% dos impactos ambientais em relação ao cenário atual.

A DPR possui um sistema de gestão ambiental e certificação ISO 14.001, garantindo que seus aspectos ambientais negativos sejam controlados e os positivos, destacados. A reciclagem de materiais, inclusive de embalagens de defensivos agrícolas, a correta destinação de resíduos perigosos e demais controles aplicados pela unidade são responsáveis pelos impactos positivos atingidos.

Destaca-se a importância da construção do inventário de ciclo de vida, permitindo a identificação e quantificação de aspectos pertencentes ao sistema e que devem ser melhorados.

Apesar da compostagem ter demonstrado seu maior potencial de diminuição de impactos ambientais, novas oportunidades devem ser exploradas, como a captação de água da chuva para fins não potáveis, a troca progressiva de lâmpadas atuais pelas do tipo LED e ações para diminuir a geração de resíduos, que apesar de não terem demonstrado uma redução significativa de impactos, se inserem num contexto para o aprimoramento do desempenho ambiental e busca pela melhoria contínua do sistema de gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14.040**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a. 21 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14.044**: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2009b. 46 p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT Catálogo**. 2017. Disponível em <<http://www.abntcatalogo.com.br>>. Acesso em 02 maio 2017.
- AHAMED, A. et al. Life cycle assessment of the present and proposed food waste management technologies from environmental and economic impact perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v.131, p.607-6014, 2016.
- ALVARENGA, R. P. **Subsídio para avaliação do ciclo de vida de modo simplificada da produção agrícola de milho, por meio de um estudo de caso**. 2012. 164 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2012.
- ANEX, R.; LIFSET, R. Life Cycle Assessment: different models for different purposes. **Journal of Industrial Ecology**, v.18, n.3, p.321-323, 2014.
- ASHMAWY, I.K.I.M. NGO involvement in zoo management: a myth or a reality? **Environment, Development and Sustainability**, p.1-15, 2017.
- AUGUSTO, A.M. **Gestão de resíduos sólidos nos zoológicos do Brasil: o caso da Fundação Jardim Zoológico da cidade do Rio de Janeiro**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- AZA. ASSOCIATION OF ZOOS AND AQUARIUMS. **Introduction to building zoo & aquarium sustainability plans**. 2013. Disponível em <https://www.aza.org/assets/2332/aza_green_guide_volume_1.pdf>. Acesso em 20 jan. 2018.
- BARBOSA, E.B. FRAXE, T.J.P. Coisas: produção, distribuição, consumo e sustentabilidade. **Contribuciones a la Economía**. 2013. ISSN 1696-8360. Disponível em <<http://www.eumed.net/ce/2013/producao-distribuiçao-consumo-sustentabilidade.html>>. Acesso em 30 abr 2017.
- BENIS, K. FERRÃO, P. Potential mitigation of the environmental impacts of food systems through urban and peri-urban agriculture (UPA) – a life cycle assessment approach. **Journal of Cleaner Production**, v.140, p.784-795, 2016.

BRASIL. Lei n. 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 1986. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm>. Acesso em 30 dez. 2017.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 2010. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 16 fev. 2016

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos**: ferramenta gerencial da ISO 14.000. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., CNI, 1997. 120 p.

CLAUDINO, E. S. TALAMINI, E. Análise do ciclo de vida (ACV) aplicada ao agronegócio: uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p.77-85, 2013.

COLTRO, L. et al. Environmental profile of Brazilian green coffee. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.11, n.1, p.16-21, 2006.

COLTRO, L. (org). **Avaliação do ciclo de vida como instrumento de gestão**. Campinas: CETEA/ITAL, 2007. 75 p.

COSTA, M.P. **Socio-eco-efficiency of integrated and non-integrated systems of crop, forestry and livestock in the Ipameri city, at Brazilian Cerrado**. 2015. 192 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba. 2015.

COSTA, M.P. et al. A socio-eco-efficiency analysis of integrated and non-integrated crop-livestock-forestry systems in the Brazilian Cerrado based on LCA. **Journal of Cleaner Production**, v.171, p.1460-1471, 2018.

CURRAN, M. A. **Life Cycle Assessment: Principles and Practice**. EPA/600/R-06/060. National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati, Ohio, USA. Mai. 2006.

EAZA. EUROPEAN ASSOCIATION OF ZOOS AND AQUARIA. **EAZA Conservation Education Standards**. 2016. Disponível em <<https://www.eaza.net/assets/Uploads/Standards-and-policies/EAZA-Conservation-Education-Standards-2016-09.pdf>>. Acesso em 30 dez. 2017.

EAZA. EUROPEAN ASSOCIATION OF ZOOS AND AQUARIA. **About us**. 2017. Disponível em <<https://www.eaza.net/about-us/>>. Acesso em 30 dez. 2017.

ECOINVENT. **About Ecoinvent**. 2017. Disponível em <<http://www.ecoinvent.org/about/about.html>>. Acesso em 30 nov. 2017.

EDGE. **Taronga Zoo: LCA lite – food packaging for events.** 2017. Disponível em <https://edgeenvironment.com/project/taronga-zoo-lca-lite-food-packaging-events/>. Acesso em 15 jun. 2017.

EKVALL, T. et al. What life-cycle assessment does and do not do in assessments of waste management. **Waste Management**, v.27, p.989-996, 2007.

EPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Environmental Management Systems (EMS).** 2016. Disponível em <<https://www.epa.gov/ems>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

EUROPEAN COMMISSION. **International Reference Life Cycle Data System (ILCD) handbook: general guide for Life Cycle Assessment: detailed guidance.** Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.

FERREIRA, J.V.R. **Gestão Ambiental: análise de ciclo de vida de produtos.** Instituto Politécnico de Viseu, Portugal, 2004.

FERREIRA, H; LEITE, M.G.P. A Life Cycle Assessment study of iron ore mining. **Journal of Cleaner Production**, v.108, p.1081-1091, 2015.

FINNVEDEN, G. et al. Recent Developments in Life cycle assessment. **Journal of Environmental Management**, v.91, n.1, p.1-21, 2009.

FPZSP. FUNDAÇÃO PARQUE ZOOLOGICO DE SÃO PAULO. **Relatório Anual 2012.** São Paulo: Dfuse Design, 2013.

FPZSP. FUNDAÇÃO PARQUE ZOOLOGICO DE SÃO PAULO. **Relatório Anual 2014.** São Paulo: Editoria de Arte, 2015.

FPZSP. FUNDAÇÃO PARQUE ZOOLOGICO DE SÃO PAULO. **Relatório Anual 2016.** São Paulo: Editoria de Arte, 2017.

FUKUROZAKI, S.H.; SEO, E.S.M. **Metodologia da análise de ciclo de vida: importância na inserção da tecnologia de célula a combustível do tipo PEMFC.** 2004. Disponível em <<http://seeds.usp.br/pir/arquivos/congressos/AGRENER2004/Fscommand/PDF/Wicac/12-%20Sandra%20Fukurozaki.pdf>> Acesso em 02 dez. 2016.

GIANELLI, B. F. **Avaliação de ciclo de vida comparativa dos processos de anodização e oxidação eletrolítica em plasma de liga de alumínio.** 2014. 120f. Dissertação (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Materiais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba. 2014.

GLAUBITZ, J. P. A. **Modern consumerism and the waste problem.** Department of Physics. Oslo: Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo. 8 p. 2011. Disponível em < http://users.physik.fu-berlin.de/~glaubitz/mnses9100_essay.pdf >. Acesso em 24 ago. 2016.

GODFRAY, H.C.J. et al. Food Security: The challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v.327, n.5967, p.812-818, 2010.

GULDBRANDSSON, F.; BERGMARK, P. **Opportunities and limitations of using life cycle assessment methodology in the ICT sector**. Ericsson AB. 2012. Disponível em: <https://www.ericsson.com/news/131018-opportunities-and-limitations-of-using-life-cycle-assessment-methodology-in-the-ict-sector_244129226_c>. Acesso em: 24 ago. 2016.

GUINÉE, J. B. et al. Life Cycle Assessment: Past, Present and Future. **Environmental Science and Technology**, v.45, n.1, p 90-96, 2011.

HARRIS, S.;NARAYANASWAMY, V. **A literature review of life cycle assessment in agriculture**. Rural Industries Research and Development Corporation. Australia, RIRDC Publication, 2009.

HASAN, M.R.M; YOU, Z. Estimation of cumulative energy demand and green house gas emissions of ethanol foamed WMA using life cycle assessment analysis. **Construction and Building Materials**, v.93, p.1117-1124, 2015.

HELLWEG, S.; CANALS, L. M. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. **Science**, v.344, n.6188, p.1109-1113, 2014.

HENDRICKSON, C. T. et al. Environmental life cycle assessment of goods and services: an input-output approach. **Scitech Book News**, v.30, n.2, 262p, 2006.

HERDER, J. STREITER, C. **Sustainability to implement**. A research about sustainable, beneficial and reasonable facilities for Zoos and Aquariums. 2010. 125 fl. Trabalho de Conclusão de Curso (Bachelor final thesis Animal Management) - University of Applied Sciences, Holanda, 2010. Disponível em <http://www.waza.org/files/webcontent/1.public_site/5.conservation/environmental_sustainability/Sustainability_Thesis.pdf>. Acesso em 30 dez. 2017.

INGRAO, C. et al. An attributional life cycle assessment application experience to highlight environmental hotspots in the production of foamy polyactic trays for fresh-food packaging usage. **Journal of Cleaner Production**, v.150, p.93-103, 2017.

INGWERSEN, W.W. et al. Using screening level environmental life cycle assessment to aid decision markers: a case study of a college annual report. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v.13, n.1, p.6-18, 2012.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Environmental Management: the ISO 14.000 family of International Standards**. 2009. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/theiso14000family_2009.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2016.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14.000 - Environmental Management**. 2016. Disponível em <<http://www.iso.org/iso/iso14000>>. Acesso em: 03 mar. 2016.

LAURENT, A. et al. Review of LCA studies of solid waste management systems – Part I: lessons learned and perspectives. **Waste Management**, v.34, n.3, p.573-588, 2014a.

LAURENT, A. et al. Review of LCA studies of solid waste management systems – Part II: methodological guidance for a better practice. **Waste Management**, v.34, n.3, p.589-606, 2014b.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Agrostat – Estatísticas de comércio exterior do agronegócio brasileiro: indicadores Gerais Agrostat**. 2016. Disponível em <<http://indicadores.agricultura.gov.br/agrostat/index.htm>>. Acesso em: 28 ago. 2016.

MAPA. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Exportação: indicadores Gerais Agrostat**. 2017. Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/exportacao>>. Acesso em: 30 jan. 2017.

MAZZI, A. et al. What are the benefits and difficulties in adopting an environmental management system? The opinion of Italian organizations. **Journal of cleaner production**, v.139, p.873-885, 2016.

MEDEIROS, G. A.; CARVALHO JUNIOR, O. O.; VACCARI, G. B. Potencialidades do reuso da água: estudos de caso no setor sucroalcooleiro e universitário. **Engenharia Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 03-16, 2012.

MEDEIROS, G. A.; DANIEL, L. A. Responsabilidade ambiental: neutralização do carbono gerado pelos alunos da Faculdade de Tecnologia de Indaiatuba - SP. **Reverte** (Indaiatuba), v.7, p.14-29, 2009.

MINISTRY OF HOUSING, SPATIAL PLANNING AND THE ENVIRONMENT. **The Eco-indicator 99 manual for designers: a damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment**. 2000. Disponível em <https://www.pre-sustainability.com/download/EI99_Manual.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2016.

MOURAD, A.L. et al. **Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações**. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002. 92 p.

MUÑOZ, E.; NAVIA, R. *Life Cycle assessment of solid waste management strategies in a chlor-alkali production facility. Waste Management and Research*, v.29, n.6, p.634-643, 2011.

NAKAJIMA, K. et al. Influences of life cycle thinking-based environmental education program on pro-environmental behavior. **Journal of life cycle assessment**, v.7, n.1, p.84-95, 2011.

NOTARNICOLA, B. The role of life cycle assessment in supporting sustainable agri-food systems: a review of the challenges. **Journal of Cleaner Production**, v.140, p.399-409, 2017.

OECD/FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Brazilian agriculture: Prospects and challenges. In OECD/FAO. **OECD-FAO Agricultural Outlook 2015-2024**. Paris: OECD Publishing, 2015. Disponível em <http://dx.doi.org/10.1787/agr_outlook-2015-5-en> Acesso em 30 jan. 2017.

PAES, M. X. **Inventário do ciclo de vida do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e projeção de cenários para avaliação de impactos ambientais**. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru. 2013.

PAOLOTTI, L. et al. Combining livestock and tree crops to improve sustainability in agriculture: a case study using the life cycle assessment (LCA) approach. **Journal of Cleaner Production**, v.131, p.351-363, 2016.

PARSONS, D. The environmental impact of engineering education in Australia. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v.14, n.2, p.175-183, 2009.

PENNING, M. et al. **Turning the tide: a global aquarium strategy for conservation and sustainability**. Switzerland: World Association of Zoos and Aquariums, 2009. Disponível em <http://www.waza.org/files/webcontent/1_public_site/5_conservation/conservation_strategies/turning_the_tide/Aquarium%20strategy%20EN.pdf>. Acesso em 19 jan. 2018.

PELLETIER, N. Life cycle thinking, measurement and management for food system sustainability. **Environmental Science and Technology**, v.49, n.13, p.7515-7519, 2015.

PRÉ. **SimaPro Database Manual: methods Library**. 2016. Disponível em <<https://www.pre-sustainability.com/download/DatabaseManualMethods.pdf>>. Acesso em 4 jul. 2017

PRINCIPI, P. FIORETTI, R. A comparative life cycle assessment of luminaires for general lighting for the office – compact fluorescent (CFL) vs Light Emitting Diode (LED) – a case study. **Journal of Cleaner Production**, v.83, p.96-107, 2014.

RAMOS, G.F.C. et al. Cellulolytic and proteolytic ability of bacteria isolated from gastrointestinal tract and composting of a hippopotamus. **AMB Express**, v.6, n.1, p.6-17, 2016.

REISFELD, A.C. **Práticas sustentáveis em zoológicos e aquários ao redor do mundo e sugestões de propostas para a implantação na FPZSP**. 57 fl. Monografia (Aprimoramento Profissional) – Fundação Parque Zoológico de São Paulo, São Paulo, 2012.

RIPA, M. et al. The relevance of site-specific data in life cycle assessment (LCA). The case of the municipal solid waste management in the metropolitan city of Naples (Italy). **Journal of Cleaner Production**, v.142, p.445-460, 2017.

RIBEIRO, I.S. et al. **Análise da viabilidade econômica da substituição de lâmpadas fluorescentes tubulares por tecnologia LED**. In: VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, 2017.

RIBEIRO, R. (org.). **ZOO São Paulo: 50 anos de história da Fundação Parque Zoológico de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Integração Social, Educação, Cultura e Desenvolvimento Humano, 2009. 202 p.

RUVIARO, C.F. et al. Life cycle assessment in Brazilian agriculture facing worldwide trends. **Journal of cleaner production**, v.28, p.9-24, 2012.

SAADE, M.R.M. et al. A avaliação do ciclo de vida – ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais. **Natureza on-line**, v.12, n.3, p.109-116, 2014.

SALIBA, S. E. **Estimativa da emissão de gases do efeito estufa e sequestro de carbono em um sistema de produção agrícola**. 73 fls. 2015. Dissertação (Mestrado em em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2015.

SALLABERRY, R.R. **Emprego da avaliação do ciclo de vida para levantamento dos desempenhos ambientais do biodiesel de girassol e óleo diesel**. 2009. 140 fl. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009.

SANTOS, T.S. et al. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas LED e convencionais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.4, p.596-602, 2015.

SCHEUER, C. et al. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modelling challenges and design implications. **Energy and Buildings**, v.35, n.10, p.1049-1064, 2003.

SEO, E.S.M.; KULAY, L.A. Orientações Conceituais para Elaboração de Inventário de Ciclo de Vida. São Paulo: **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v.1, n.1, 2006.

SETAC. SOCIETY OF ENVIRONMENTAL TOXICOLOGY AND CHEMISTRY. **SETAC'S Mission**. Disponível em < <https://www.setac.org/?page=Mission>>. Acesso em 31 dez. 2017.

SIMAN, R.R. et al. Contribuição à aplicação da avaliação do ciclo de vida na indústria cimenteira: uma revisão bibliográfica. **Empreendedorismo, Gestão e Negócios**, v.3, n.3, p.145-155, 2014.

SINDPETROLEO. **Testes de qualidade – Tabela de conversões de produtos**. 2015. Disponível em <<http://www.sindipetroleo.com.br/portal/storage/tabelas-de-densidade.pdf>>. Acesso em 12 fev 2017.

STERN, A. **Environmental management and education at Aalborg Zoo: a study of potentials and limitations**. 2009. 79 fl. Trabalho de Conclusão de Curso (Environmental Management Program) - Aalborg University, Dinamarca, 2009. Disponível em < http://projekter.aau.dk/projekter/files/17059074/microsoft_word_-_final_combined_document_w-_appendixies.pdf >. Acesso em 28 jun. 2017.

SZB. SOCIEDADE ZOOLOGICOS E AQUÁRIOS DO BRASIL. **Lista de zoológicos e aquários do Brasil, divididos por regiões**. 2017. Disponível em < <http://www.szb.org.br/arquivos/zoos-e-aquarios-brasil.pdf> >. Acesso de 29 ago. 2017.

TEILLARD, F. et al. What does life-cycle assessment of agricultural products need for more meaningful inclusion of biodiversity? **Journal of Applied Ecology**, v.53, n.5, p.1422-1429, 2016.

TURNER, I. Measuring performance: environmental management systems. **International Zoo Yearbook**, v.43, n.1, p.82-90, 2009.

KIKUCHI-UEHARA, E.. et al. Analysis of factors influencing consumers' proenvironmental behavior based on life cycle thinking. Part I: effect of environmental awareness and trust in environmental information on product choice. **Journal of Cleaner Production**, v.117, p.10-18, 2016.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Life Cycle Management: a business guide to sustainability**. 2007. Disponível em <<http://www.unep.org/pdf/dtie/DTI0889PA.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2016.

UNEP. UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Global Guidance principles for life cycle assessment databases: a basis for greener processes and products**. 2011. Disponível em <<http://www.unep.org/pdf/Global-Guidance-Principles-for-LCA.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2016.

UN. UNITED NATIONS. **World Population Prospects: the 2015 revision**. Volume II: Demographic Profiles (ST/ESA/SER.A/380). 2015. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. Disponível em <<https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/> >. Acesso em 30 abr. 2017.

WEILER, V. et al. Handling multi-functionality of livestock in a life cycle assessment: the case of smallholder dairying in Kenya. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v.8, p.29-38, 2014.

XUE, M. XU, Z. Application of life cycle assessment on electronic waste management: a review. **Environmental Management**, v.59, n. 4, p.693-707, p. 2017.

ZOOLOGICO DE SÃO PAULO. **A Fundação: fazenda do Zoo**. 2016. Disponível em: <<http://www.zoologico.com.br/a-fundacao/fazenda-do-zoo/>> Acesso em: 24 abr. 2016.

WAZA. WORLD ASSOCIATION OF ZOOS AND AQUARIUMS. **About Waza:** What we do. 2017. Disponível em < <http://www.waza.org/en/site/about-waza/what-we-do>>. Acesso em 30 dez. 2017.

APÊNDICE

Tabela 13 – Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida da atividade de Educação Ambiental e as categorias de impacto influenciadas em termos de pontuação no ano de 2016

Categoria de impacto	Operação (Pt)	Transporte de funcionários (Pt)	Transporte de visitantes (Pt)	Eletricidade (Pt)	Cenário de destino final (Pt)	Pontuação (Pt)
Consumo de combustíveis fósseis	5	741	5831	2	14098	20676
Respiráveis inorgânicos	1	282	3148	1	6538	9970
Mudanças climáticas	0	75	537	1	1335	1949
Acidificação/Eutrofização	0	24	297	0	492	813
Carcinogênicos	0	22	138	2	196	357
Ecotoxicidade	0	15	116	0	159	291
Consumo de minerais	0	7	50	0	222	279
Uso do solo	1	7	69	0	140	218
Respiráveis orgânicos	0	7	5	0	27	38
Radiação	0	0	5	0	5	11
Depleção da camada de ozônio	0	0	0	0	1	2
Total	8	1181	10196	6	23213	34604

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

Tabela 14 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida da atividade de Conservação e Reprodução de Animais e as categorias de impacto influenciadas em termos de pontuação no ano de 2016

Categoria de impacto	Operação (Pt)	Eletricidade (Pt)	Transporte de alimentação animal (Pt)	Transporte de funcionários (Pt)	Cenário de Destino Final (Pt)	Pontuação (Pt)
Consumo de combustíveis fósseis	1268	380	21	1530	64453	67653
Respiráveis inorgânicos	375	124	5	367	29956	30827
Mudanças climáticas	208	116	2	164	6101	6591
Acidificação/ Eutrofização	72	7	0	25	2254	2358
Carcinogênicos	7	276	1	67	873	1223
Uso do solo	199	70	0	24	647	941
Ecotoxicidade	3	59	0	36	729	826
Consumo de minerais	21	46	0	17	106	190
Respiráveis orgânicos	2	0	0	20	124	145
Radiação	0	2	0	1	24	27
Depleção da camada de ozônio	0	0	0	0	5	5
Total	2155	1080	30	2250	105271	110786

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

Tabela 15 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida das Atividades Administrativas e as categorias de impacto influenciadas em termos de pontuação no ano de 2016

Categoria de impacto	Operação (Pt)	Transporte funcionários internos (Pt)	Transporte funcionários externos (Pt)	Eletricidade (Pt)	Cenário de Destino Final (Pt)	Pontuação (Pt)
Consumo de combustíveis fósseis	502	7453	4771	126	117072	129925
Respiráveis inorgânicos	46	2319	1192	41	54392	57990
Mudanças climáticas	18	725	471	38	11094	12346
Acidificação/Eutrofização	3	191	85	2	4093	4374
Carcinogênicos	13	438	287	91	1624	2453
Consumo de minerais	2	85	62	15	1502	1666
Ecotoxicidade	4	198	106	19	1322	1649
Uso do solo	8	238	160	23	1163	1591
Respiráveis orgânicos	0	17	5	0	224	247
Radiação	0	12	10	1	44	66
Depleção da camada de ozônio	0	1	0	0	8	9
Total	596	11675	7150	358	192538	212317

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*

Tabela 16 - Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida da Produção Agrícola e as categorias de impacto influenciadas em termos de pontuação no ano de 2016

Categoria de impacto	Operação (Pt)	Eletricidade (Pt)	Transporte de funcionários (Pt)	Transporte de produtos agrícolas (Pt)	Leilão de milho (Pt)	Deslocamento frota interna (Pt)	Transporte de insumos (Pt)	Cenário de Destino Final (Pt)	Pontuação (Pt)
Consumo de combustíveis fósseis	20345	31	2393	250973	12642	2959	26153	134974	450469
Respiráveis inorgânicos	5593	10	793	59910	3018	765	6243	62747	139078
Mudanças climáticas	2047	9	239	22895	1153	295	2386	12778	41803
Acidificação/ Eutrofização	267	1	65	4564	230	44	476	4720	10366
Ecotoxicidade	866	5	64	5607	282	84	584	1525	9017
Uso do solo	2764	6	60	4035	203	118	421	1355	8963
Carcinogênicos	3776	22	123	1987	100	231	207	1825	8271
Consumo de minerais	1011	4	25	1818	92	62	189	222	3424
Respiráveis orgânicos	7	0	14	139	7	2	15	259	444
Radiação	32	0	3	244	12	7	25	51	374
Depleção da camada de ozônio	1	0	0	18	1	0	2	10	32
Total	36710	88	3778	352191	17740	4566	36700	220466	672239

Fonte: Adaptado de *SimaPro 7.3.0*