

# AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMO UMA FERRAMENTA DE ANÁLISE DE IMPACTOS AMBIENTAIS E CONCEITO APLICADOS EM PROGRAMAS EDUCATIVOS

LIFE CYCLE ASSESSMENT AS AN ANALYZING TOOL FOR ENVIRONMENTAL IMPACTS AND CONCEPT APPLIED TO EDUCATION PROGRAMS

Ana Carolina Dutra 

Mestre em Ciências Ambientais, Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) – Sorocaba (SP), Brasil.

Gerson Araújo de Medeiros 

Doutor em Engenharia Agrícola. Professor do Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Unesp – Sorocaba (SP), Brasil.

Bruno Fernando Gianelli 

Doutor em Ciência e Tecnologia dos Materiais. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia – Itapetininga (SP), Brasil.

## Endereço para correspondência:

Ana Carolina Dutra – Rua Milton de Souza Oliveira, 154 – Residencial Colinas do Sol – CEP 18050-087 – Sorocaba (SP), Brasil – E-mail: anacadutra@gmail.com

Recebido em: 16/10/2018

Aceito em: 22/02/2019

## RESUMO

A educação ambiental é parte do processo de educação no qual se constroem valores voltados para a conservação do meio ambiente, contribuindo para o combate à crise ambiental. A avaliação do ciclo de vida estima os potenciais impactos ambientais gerados durante todo o ciclo de vida de uma atividade. Este trabalho objetivou avaliar os potenciais impactos ambientais produzidos por um programa de educação ambiental pela visão do ciclo de vida e propor uma metodologia tanto para inserção desse conceito em atividades de educação ambiental como de avaliação do desempenho ambiental de outros programas educativos. A partir do uso do programa computacional SimaPro 7.3.0, o cenário de destino final de resíduos representou 67,1% dos impactos ambientais totais, a maior parte devido ao transporte de resíduos orgânicos ao aterro sanitário, seguido de outras atividades envolvendo logística. Encontra-se na compostagem desse tipo de resíduo a redução de até 37% de impactos em relação ao cenário original.

**Palavras-chave:** avaliação do ciclo de vida; educação ambiental; gestão ambiental; zoológico.

## ABSTRACT

Environmental education is part of the education process, where values are built to conserve the environment, combating the environmental crisis. Life cycle assessment estimates the potential environmental impacts generated throughout the life cycle of an activity. This work aimed at evaluating the potential environmental impacts produced by an education program through the life cycle perspective and at proposing a methodology both for the insertion of this concept into environmental education activities and for evaluating the environmental performance of other educational programs. Using the SimaPro 7.3.0 software, the final waste scenario accounted for 67.1% of the total environmental impacts, mostly due to the transportation of organic waste to the landfill, followed by other activities involving logistics. The organic decomposition of this type of waste can reduce the impacts up to 37% in relation to the original scenario.

**Keywords:** life cycle assessment; environmental education; environmental management; zoo.

## INTRODUÇÃO

As preocupações acerca dos problemas ambientais contemporâneos têm foco nas ações do homem e para que se encontre uma solução é necessária uma transformação de suas abordagens. As atividades antrópicas e a exploração desenfreada e não sustentável dos recursos naturais ameaçam não só a disponibilidade dos mesmos, como também a biodiversidade (LUTINSKI *et al.*, 2017), transformando habitats em áreas de cultivo e interferindo na disponibilidade de alimentos, por exemplo. A evolução tecnológica, o desenvolvimento econômico, a urbanização e o crescimento populacional tendem a aumentar a geração de resíduos sólidos (SADI JUNIOR *et al.*, 2017), contribuindo para a exaustão de recursos ambientais e a degradação ambiental.

O termo educação ambiental surgiu pela primeira vez em 1965 durante a Conferência em Educação, na Alemanha. A consideração da dimensão ambiental na educação começou a ser correntemente discutida após a Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente Humano, de 1972, em Estocolmo, Suécia. Começou-se a pensar mais sobre a difusão da consciência ambiental entre os cidadãos e nada melhor do que começar no ambiente escolar. A temática ambiental começou a ser vista como necessária para a formação de todos, estando presente na educação tradicional e servindo como uma ferramenta de combate à crise ambiental (DIAS, 2004). Entretanto, para que a educação ambiental tenha êxito e para que seus aspectos positivos se destaquem, é necessária uma transformação no planejamento, sobretudo escolar (UYANIK, 2016).

Durante todas as etapas do ciclo de vida de um produto, serviço ou atividade são gerados impactos ambientais positivos e negativos, devido a entradas e saídas de matéria e energia do sistema (CLAUDINO & TALAMINI, 2013). O pensamento do ciclo de vida surgiu como um conceito visando à diminuição do uso dos recursos na-

turais e emissões ao ambiente, analisando e avaliando todo o ciclo de vida de um sistema e o que o influencia e é influenciado (ABNT, 2009; KIKUCHI-UEHARA; NAKATANI; HIRAO, 2016).

O início da aplicação dessa ferramenta remonta à década de 1960 (HELLWEG & CANALS, 2014) e com o passar dos anos se fez necessária uma padronização, a qual começou a ser desenvolvida 30 anos mais tarde pela *International Organization for Standardization* (ISO). Atualmente, no Brasil, as normas referentes à avaliação do ciclo de vida (ACV) são ABNT NBR ISO 14.040:2009 (Gestão Ambiental — Avaliação do Ciclo de Vida — Princípios e Estruturas) e ABNT NBR ISO 14.044:2009 (Gestão Ambiental — Avaliação do Ciclo de Vida — Requisitos e Orientações), além de dois documentos técnicos (ABNT, 2018).

A Fundação Parque Zoológico de São Paulo (FPZSP) foi o décimo zoológico do mundo a conquistar a certificação ISO 14.001, mantendo-a até os dias atuais. Possui, no interior do estado de São Paulo, uma unidade de produção agrícola multifuncional, a Divisão de Produção Rural (DPR), que além de produzir alimentos e matérias-primas para a fundação, abriga o Centro de Conservação de Fauna Silvestre do Estado de São Paulo (CECFAU) e possui um programa de educação ambiental chamado Fazenda Legal, voltado ao recebimento de crianças de 7 a 12 anos para visitas monitoradas (FPZSP, 2013).

Assim, este estudo objetivou apresentar um método de avaliação do desempenho ambiental para programas educativos; introduzir o conceito do pensamento de ciclo de vida em atividades de educação ambiental; e estimar os potenciais impactos ambientais gerados durante as atividades desenvolvidas pelo programa Fazenda Legal a partir da visão de ciclo de vida, como uma forma de propor diretrizes de gestão para sua melhoria ambiental.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Educação ambiental

A Lei Federal Brasileira nº 9.975, de 1997, define a educação ambiental como os processos pelos quais a coletividade constrói valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente (BRASIL, 1997). Destaca que a educação ambiental formal (presente nos currículos de instituições públicas e privadas) deve

ser considerada em todos os níveis educacionais, além das abordagens não formais, cuja função é sensibilizar a coletividade para a defesa das questões ambientais.

Após a Conferência de Estocolmo foram realizados diversos encontros, conferências e seminários, nacionais e internacionais, para discussões acerca da sensibiliza-

ção da população sobre as inter-relações do meio ambiente com a educação (BARBIERI & SILVA, 2011).

Em 1975, em resposta às recomendações geradas na Conferência de Estocolmo, houve o primeiro encontro sobre educação ambiental em Belgrado (na então Iugoslávia), que resultou na criação do Programa Internacional de Educação Ambiental (BARBIERI & SILVA, 2011). Nesse primeiro momento, a educação ambiental adquiriu o caráter multidisciplinar, contínuo e integrado às diferenças regionais (DIAS, 2004; BRASIL, 2016).

No ano de 1977 foi realizada a Conferência Intergovernamental sobre a Educação Ambiental em Tbilisi, Geórgia, evento conjunto da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) e do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNU-

### Avaliação do ciclo de vida

Ao utilizar o pensamento do ciclo de vida para uma análise completa de entradas e saídas de um sistema, aperfeiçoando assim seu desempenho ambiental pela redução de emissões ao ambiente, surgiram diversas ferramentas, como a ACV, a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida, a avaliação do ciclo de vida social, entre outras.

A ACV é comumente utilizada na avaliação e no aprimoramento de sistemas de produção, pois mapeia os principais e potenciais impactos ambientais. Como consequência, tem-se o direcionamento 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).

De acordo com a norma ABNT NBR ISO 14.040:2009, divide-se um estudo de ACV em quatro fases (*apud* CURRAN, 2006). A primeira fase é a definição do objetivo e escopo: o objetivo deverá conter a razão do estudo e o escopo deverá contemplar as principais definições do sistema, como a unidade funcional (referência para o levantamento de dados e interpretação de resultados) e abrangência das etapas do estudo de ACV (berço-ao-túmulo, berço-ao-portão). A segunda fase é a análise do inventário de ciclo de vida (ICV), a etapa mais importante de uma ACV, pois lista todas as entradas e saídas das etapas do ciclo de vida, permitindo, assim, a quantificação dos aspectos ambientais

MA), considerada um marco importante na história da educação ambiental, tendo como produto a Declaração de Tbilisi. Nessa declaração, recomendou-se que a educação ambiental deve ser ampla e abranger pessoas de todas as idades, não somente nas escolas, como também em atividades não formais que procurem disseminar valores ambientais, como os parques zoológicos, parques naturais e unidades de conservação.

Ainda, a literatura apresenta uma série de artigos e abordagens em que a educação ambiental é uma importante estratégia para a inserção das relações ecológicas no cotidiano das pessoas, traduzindo-se numa maneira de promover o entendimento e a sensibilização para as questões ambientais da sociedade contemporânea (MEDEIROS; CARVALHO JUNIOR; VACCARI, 2012; MEDEIROS & DANIEL, 2009; GRIGOL *et al.*, 2013; FENGLER *et al.*, 2015).

nas fronteiras definidas pelo sistema em estudo. A terceira fase é a avaliação dos impactos, que tem como propósito descrever as cargas ambientais decorrentes das entradas e saídas das fronteiras do estudo em categorias de impacto ambiental previamente definidas na etapa de escopo. A última fase é a interpretação dos resultados, que combina 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 sobre a significância, magnitude e ações a serem aplicadas nos potenciais impactos identificados.

Nakajima, Hirayama e Hondo (2011) consideraram efetivo o uso do pensamento do ciclo de vida como uma ferramenta de educação ambiental para mudar o comportamento de alunos do ensino médio de uma cidade japonesa em relação a suas atitudes. Partiu-se da afirmação de que, para entender mais sobre o meio ambiente e suas relações com ações cotidianas, o aluno precisava perceber o quanto seu estilo de vida o influencia. Dessa forma, o pensamento do ciclo de vida foi disseminado a partir da relação entre o ciclo de vida das ações dos alunos e seus impactos nas mudanças climáticas. Como resultado final, houve um maior entendimento de como o estilo de vida causa impactos ambientais, como a consequente emissão de gases causadores do efeito estufa e suas alterações na qualidade ambiental, tornando-se uma ferramenta útil para a mudança comportamental.

## METODOLOGIA

### Área de estudo

#### *A educação ambiental na Fundação Parque Zoológico de São Paulo*

O Brasil conta hoje com 106 parques zoológicos e 10 aquários, a maioria localizada na Região Sudeste (SZB, 2017). Inicialmente, os parques zoológicos surgiram com a função de entretenimento, ao permitir o contato dos visitantes com diversos tipos de animais. Atualmente, zoológicos de todo o mundo incorporam outros objetivos, como a conservação de espécies e ecossistemas ameaçados de extinção e a educação ambiental (ASHMAWY, 2018).

A Fundação Parque Zoológico de São Paulo (FPZSP) desenvolve atividades de educação ambiental tanto no

parque zoológico quanto em sua unidade de produção agrícola. No parque zoológico, as atividades educativas começaram no ano de 2000 e são baseadas em ações de conservação da biodiversidade e da fauna, utilização responsável dos recursos naturais e sobre a interferência do homem na natureza, visando sensibilizar os visitantes através de sua coleção de animais. Além disso, realizam diversos eventos ao longo do ano, apresentações didáticas, exposições, um jornal de divulgação de conteúdos ambientais da fundação, chamado *Abrindo o Bico*, cursos para educadores e um clube ecológico da terceira idade (FPZSP, 2017).

#### *A educação ambiental na Divisão de Produção Rural*

O programa de educação ambiental Fazenda Legal surgiu em 2011 a partir de parcerias com as secretarias municipais de meio ambiente e educação das cidades do entorno de Araçoiaba da Serra, sendo dividido em duas etapas. A primeira é o curso de formação de educadores (professores, coordenadores pedagógicos e diretores) da rede pública, baseado em encontros na DPR, onde são oferecidas palestras, minicursos e atividades práticas. Ao final do curso, os educadores devem desenvolver um projeto ambiental com seus alunos. Na segunda etapa os alunos dos educadores vão até a DPR e realizam uma visita monitorada. Ao final das visitas, os projetos dos educadores são avaliados e ocorre a escolha da escola vencedora (DUTRA, 2018).

As visitas monitoradas baseiam-se em uma trilha ecológica que resgata as lendas do folclore para que os alunos façam uma conexão entre suas histórias e questões relacionadas ao meio ambiente. Primeiramente, os participantes são recebidos no espaço de educação ambiental,

onde ocorre a introdução sobre o que é a FPZSP e quais as suas unidades, a sustentabilidade dentro da fundação e a função da DPR. Em seguida, os alunos partem para uma trilha ecológica onde o Saci Pererê demonstra a importância da manutenção das florestas e das ervas medicinais, a lara discute a poluição dos recursos hídricos e área de preservação permanente, o Boitatá discorre sobre queimadas, efeito estufa e perda de biodiversidade, Curupira fala sobre o consumismo e a cultura indígena e Caipora aborda o tráfico de animais e a proteção das florestas. Ainda, são abordados temas como reciclagem, compostagem e reflorestamento. Ao longo da trilha, os participantes conhecem alguns dos animais exóticos da unidade e são abordadas as relações entre seus hábitos e a conservação dos mesmos nos dias atuais.

Além disso, a DPR possuía um clube ecológico para crianças de 7 a 12 anos e atividades para escolas não parceiras e comunidade do entorno, além de participar de eventos alusivos ao meio ambiente.

### Metodologia de avaliação do ciclo de vida

#### *Objetivos da avaliação do ciclo de vida*

O objetivo do presente estudo de ACV foi estimar os potenciais impactos ambientais produzidos por um programa de educação ambiental, Fazenda Legal, no ano de 2016, servindo como apoio na proposição de diretrizes de ges-

tão. Ainda, apresenta um método de avaliação de desempenho ambiental que pode ser estendido a outros programas educativos, enfatizando-se a importância da inserção do conceito de ACV em atividades de educação ambiental.

### *Escopo da avaliação do ciclo de vida*

Definiu-se a unidade funcional do estudo como a “avaliação dos potenciais impactos ambientais decorrentes de um programa de educação ambiental com recebimento médio de 650 visitantes anuais”. A unidade funcional serve como um parâmetro para avaliação e relação com os impactos ambientais estimados.

A fronteira do sistema foi a DPR, unidade agrícola multifuncional em que foram realizadas as atividades, tendo recebido, no ano de 2016, visitantes das cidades de Sorocaba, Araçoiaba da Serra, Votorantim e Sarapuí, num raio médio de 26 km. As atividades envolvendo o clube ecológico, onde há visitas de moradores próximos à unidade, e os eventos externos alusivos ao meio ambiente foram excluídos do estudo, voltando-se somente para o programa Fazenda Legal.

A partir da construção de um fluxograma com as principais entradas e saídas, foi possível o levantamento dos aspectos ambientais existentes e necessários para a elaboração do ICV da atividade.

Para essa atividade foram considerados os seguintes aspectos ambientais: consumo de energia elétrica, deslocamentos gerados pelos visitantes (considerados como ocorridos em ônibus a diesel), deslocamento de funcionários (ocorridos em ônibus e motocicleta) e destinação de resíduos, recicláveis e não reciclados, bem como os aspectos pertinentes ao seu deslocamento. Desconsiderou-se o consumo de água por ser baixo e insignificante.

O cenário de destino final foi feito levando-se em consideração os resíduos gerados pelos visitantes e funcionários. Para sua quantificação, realizaram-se pesagens semanais durante o primeiro semestre de 2016 e as mesmas foram relacionadas com o número total de visitantes recebidos nesse ano. Foram geradas as seguintes frações de resíduos: alumínio, papel, plástico, orgânico e sanitário. Considerou-se que o único descarte que não fez parte dessa quantificação foi o resto de alimento produzido pelos funcionários no refeitório, em que sua geração foi estimada a partir da proporção do número de funcionários dessa atividade e o resíduo orgânico (do refeitório) total gerado na unidade agrícola, obtido por Dutra (2018).

A baixa quantificação de resíduos deveu-se ao tipo de resíduo que entrou no sistema, que foram 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 que acarretou uma baixa quantificação de resíduos. Ainda, o ano de 2016 contou com poucas visitas de alunos (comparado a anos anteriores), permitindo a quantificação de resíduos apenas em alguns meses do primeiro semestre, fato esse que justifica a influência de fatores externos (turmas que não levaram lanche e turmas que não fizeram lanche na unidade) na obtenção dos resultados e sua representatividade no ciclo de vida total.

Para a elaboração do cenário do destino final de resíduos, calculou-se a distância total anual percorrida para a destinação das frações reciclável (até uma cooperativa de reciclagem) e não reciclada (até o aterro sanitário) e correlacionou-se com a quantidade dos mesmos, obtendo-se um valor em “tonelada quilômetro” (t.km), necessário para a inserção no programa computacional utilizado.

Para os deslocamentos de funcionários e visitantes, utilizou-se a ferramenta Google Maps e registros de visitas recebidas no ano de 2016, correlacionando-se a quilometragem percorrida com o total de visitantes.

Foi utilizado o programa computacional SimaPro 7.3.0 para a inserção do ICV, construção do ciclo de vida e cálculo dos potenciais impactos ambientais. Esse programa computacional tem sido utilizado em estudos de gestão de resíduos, agricultura, quantificação de gases do efeito estufa e construção civil, entre outros (DUTRA, 2018). Além disso, um estudo de ACV não precisa necessariamente de programa computacional, 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).

Dentre os diversos métodos de cálculo de impacto ambiental que o programa computacional possui, escolheu-se o método suíço Eco-Indicator 99(H), pois fornece dados representativos da carga ambiental total envolvida no ciclo de vida estudado e divididos em 3 categorias de danos e 11 categorias de impacto ambiental: danos à saúde humana (mudanças climáticas, depleção da camada de ozônio, radiação, respiráveis orgânicos, respiráveis inorgânicos e carcinogênicos),

danos ao ecossistema (ecotoxicidade, acidificação/eutrofização e uso do solo) e danos aos recursos naturais

(consumo de recursos minerais e consumo de combustível fóssil) (GOEDKOOP & SPRIENSMA, 2001).

### *Proposição de cenários de melhoria para o programa Fazenda Legal*

A partir dos resultados obtidos, identificou-se a fase do ciclo de vida com maior carga ambiental e foram realizadas, no programa computacional

SimaPro 7.3.0, simulações para cenários alternativos visando à diminuição de impactos ambientais negativos.

## RESULTADOS

### Inventário de ciclo de vida

O programa Fazenda Legal destinou 23% de seus resíduos a uma cooperativa de reciclagem, coletados em duas viagens no ano de 2016. A fração não reciclada (77%), coletada semanalmente com os demais resíduos originados na unidade, referiu-se respectivamente a: restos de alimentos produzidos pelos funcionários, resíduos sanitários e resíduos orgânicos originados pelos visitantes (compostos por frutas).

A Tabela 1 apresenta o ICV com a quantificação dos principais aspectos e impactos ambientais levantados para o programa de educação ambiental no ano de 2016.

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.

### Interpretação dos impactos do inventário de ciclo de vida

Para a construção do ciclo de vida da atividade, foram considerados os seguintes dados de entrada no programa computacional: consumo de eletricidade; geração dos resíduos alumínio, papel, plástico, orgânico dos visitantes, orgânico dos funcionários e sanitário; transporte de resíduos recicláveis, transporte de resíduos não reciclados e transporte de visitantes, calculados como descrito na metodologia. Os resíduos gerados entraram como uma fase denominada “operação”, representando os materiais de consumo que foram posteriormente destinados como resíduos. O transporte de resíduos recicláveis e não recicláveis constituiu a fase de cenário de destino final.

A Tabela 2 lista os impactos ambientais em termos de pontuação de impacto ambiental, dada pelo programa computacional em Pt. Já a Figura 1 mostra as porcentagens dos impactos ambientais de cada fase do ciclo de vida do programa Fazenda Legal.

Como dados de saída, o programa computacional SimaPro forneceu os impactos ambientais calculados para cada fase inserida no ciclo de vida, utilizando-se de uma unidade própria, o Point (Pt).

A fase de operação contribuiu com 0,023% de todo o ciclo de vida do programa de educação ambiental, estimando os impactos ambientais da extração de matéria-prima até seu uso, constituindo uma abordagem do berço-ao-portão. Esses 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, ocorridos num valor de 0,017%.

O Pt é eficiente quando se têm vários sistemas para comparar. Neste estudo, a partir dos dados numéricos (Tabela 2), os impactos ambientais de cada fase foram transformados em porcentagem com base nos impactos globais do sistema (Figura 1). Dessa forma, tem-se a possibilidade de uma melhor comparação de cada fase do ciclo de vida do programa de educação ambiental no que diz respeito a seus impactos.

As atividades envolvendo o transporte de pessoas foram responsáveis pela segunda maior contribuição dos impactos ambientais: aproximadamente 33%, sendo 3,4% devidos ao deslocamento de funcionários, percorrendo uma distância média e diária de 26,4 km, e 29,5% referentes aos visitantes. Essa abordagem levou em consideração o ciclo de vida dos veículos de locomoção, bem como o referente à obtenção dos combustíveis.

Utilizou-se a abordagem do portão-ao-túmulo para estimar os impactos do destino final de resíduos. Esse cenário representou o maior impacto do ciclo de vida: 66,3% referentes à destinação de resíduos ao aterro sanitário (correspondentes a 77% do total gerado) e 0,8% devidos à reciclagem (correspondentes a 23% do total gerado).

Apesar dos impactos positivos da reciclagem de alguns materiais, houve predomínio de impactos negativos por causa da logística de envio para a cooperativa, loca-

lizada a 12 quilômetros da DPR, e da realização de duas viagens no ano de 2016 para a coleta de materiais.

Uma alternativa para a reduzir a carga ambiental negativa gerada pelo cenário da reciclagem seria a redução para uma única viagem de coleta de resíduos por ano, além de maior reutilização de materiais antes de sua destinação final. Os resíduos recicláveis podem ser destinados a postos de entrega voluntária (PEV) pela frota interna da unidade, a qual se desloca diariamente e passa, eventualmente, por postos desse tipo.

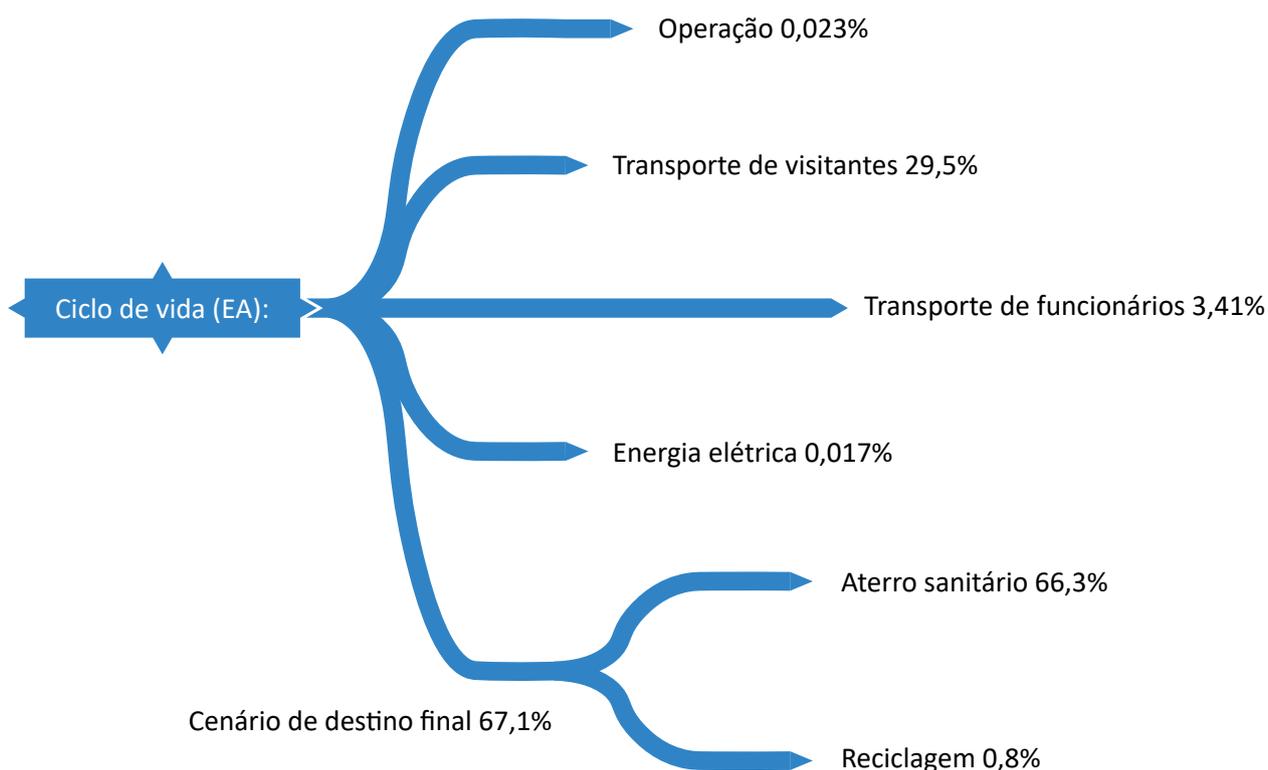
**Tabela 1 – Inventário do ciclo de vida do programa de educação ambiental no ano de 2016.**

Atividade	Aspecto ambiental	Quantificação
Desenvolvimento de atividades	Energia elétrica	Energia elétrica (kWh.ano <sup>-1</sup> )
		322,40
Visitação	Deslocamento até a Divisão de Produção Rural por ônibus a diesel	Transporte de visitantes anual (pessoa.km)
		719.615,40
	Número de visitantes em 2016	Visitantes anuais (pessoas.ano <sup>-1</sup> )
		651,00
	Resíduos enviados ao aterro sanitário por caminhão a diesel	Resíduo sanitário (kg.ano <sup>-1</sup> )
		28,00
		Resíduo orgânico - funcionários (kg.ano <sup>-1</sup> )
		31,00
		Resíduo orgânico - visitantes (kg.ano <sup>-1</sup> )
		3,00
Visitação	Resíduos enviados à reciclagem por caminhão a diesel	Transporte de resíduo não reciclado (t.km)
		141,01
		Papel (kg.ano <sup>-1</sup> )
		9,00
		Alumínio (kg.ano <sup>-1</sup> )
		2,00
		Plástico (kg.ano <sup>-1</sup> )
8,00		
Transporte dos funcionários	Deslocamento até a Divisão de Produção Rural	Transporte de resíduo reciclável (t.km)
		0,90
		Transporte por ônibus (pessoa.km)
		42.108,00
		Transporte por motocicleta (pessoa.km)
		50.776,00

**Tabela 2 – Contribuição das fases integrantes do ciclo de vida do programa 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)	Energia elétrica (Pt)	Cenário de destino final (Pt)	Total (Pt)
Depleção da camada de ozônio	0,00	0,05	0,45	0,00	1,00	1,51
Radiação	0,01	0,46	5,14	0,01	5,28	10,90
Respiráveis orgânicos	0,00	6,79	4,70	0,00	26,97	38,47
Uso do solo	0,98	7,20	68,96	0,39	140,17	217,69
Consumo de minerais	0,18	6,95	49,85	0,25	222,18	279,42
Ecotoxicidade	0,08	15,41	116,32	0,32	159,34	291,48
Carcinogênicos	0,41	21,86	137,55	1,51	195,79	357,12
Acidificação/ eutrofização	0,07	24,01	296,79	0,04	491,87	812,77
Mudanças climáticas	0,36	75,31	537,35	0,64	1334,87	1948,53
Respiráveis inorgânicos	1,23	282,34	3147,77	0,68	6538,28	9970,30
Consumo de combustíveis fósseis	4,62	740,61	5830,79	2,09	14097,72	20675,83
<b>Total</b>	<b>7,95</b>	<b>1181,00</b>	<b>10195,67</b>	<b>5,92</b>	<b>23213,47</b>	<b>34604,02</b>

Fonte: adaptado de SimaPro 7.3.0.



Fonte: adaptado de SimaPro 7.3.0.

**Figura 1 – Ciclo de vida do programa de educação ambiental (EA) e as porcentagens de impactos ambientais de cada fase constituinte no ano de 2016.**

Neste caso, não haveria a demanda de consumo de combustíveis fósseis e emissões atmosféricas em razão do deslocamento da cooperativa de reciclagem.

Já os aterros sanitários costumam apresentar cargas ambientais significativas devido aos aspectos considerados, como construção, operação e manutenção. Entretanto, neste estudo, os impactos negativos relacionaram-se à logística, sendo que aterramento e decomposição dos materiais apresentaram impactos insignificantes diante do consumo de combustíveis fósseis. Do total, 35,4% dos impactos gerados pelo aterro sanitário deveram-se ao transporte da fração orgânica e 30,9% ao transporte de resíduos sanitários. Essa alta influência das atividades de logística se assemelha aos resultados obtidos por outros autores, como Doka (2003), Laurent *et al.* (2014a; 2014b) e Paes *et al.* (2018).

### Proposição de cenários de melhoria

Os elementos naturais presentes em diversas paisagens contribuem para o processo de sensibilização, possibilitando um novo olhar sobre a realidade e a sensação de pertencimento (ALMEIDA; TOPPA; DE FIORI, 2017). O programa Fazenda Legal contribuiu para novas experiências e sensibilização dos participantes, principalmente nas abordagens sobre queimadas e aquecimento global, estrategicamente localizadas em área com menor quantidade de árvores, seguida da abordagem do reflorestamento. É nítido como o desconforto térmico sensibilizava os alunos e os fazia entender as consequências do desmatamento em nosso dia a dia. Apesar de seus aspectos positivos, sobretudo os sociais, foi possível identificar os impactos negativos gerados pela ação.

O raio médio de abrangência do Fazenda Legal em 2016 foi de 26 km e, devido à sua missão, quanto maior o número de visitas, melhor seu desempenho social, pois mais pessoas serão sensibilizadas pelas ações de conscientização ambiental. Entretanto, quanto maior o raio de abrangência, maiores as distâncias percorridas e os impactos ambientais negativos em razão, principalmente, do consumo de combustíveis fósseis.

Uma medida para mitigar os impactos ambientais negativos decorrentes da logística dos visitantes seria a conscientização e o estímulo das prefeituras municipais à contratação e ao uso de frotas com ônibus mais

Paes *et al.* (2018) avaliaram os impactos de uma gestão municipal de resíduos sólidos utilizando a ACV para estimar os impactos ambientais nas categorias acidificação, eutrofização, aquecimento global e toxicidade humana. Constataram que o transporte de resíduos ao aterro sanitário correspondeu a 91 e 89% dos impactos nas categorias acidificação e eutrofização, respectivamente, além da coleta de resíduos recicláveis e não reciclados consumirem três vezes mais diesel do que o utilizado na operação do aterro.

Os impactos relacionados à logística justificam que o consumo de combustíveis fósseis tenha sido a principal categoria de impacto ambiental influenciada, atingindo 59,8% dos impactos totais. Em seguida, destacaram-se as categorias respiráveis inorgânicos (28,8%) e mudanças climáticas (5,6%). Logo, as categorias de dano mais atingidas foram consumo de recursos e danos à saúde humana.

novos e eficientes quanto ao uso de combustíveis, além da otimização do uso dos mesmos nas viagens realizadas.

A DPR é uma propriedade rural de 574 hectares, possuindo áreas disponíveis para plantios, permitindo a neutralização do carbono e compensação das emissões de CO<sub>2</sub> realizadas pelo programa por meio de plantios e manutenções de árvores. Tal ação possui reflexos nas esferas educacional e ambiental (MEDEIROS & DANIEL, 2009).

Analisando-se o cenário de destino final, responsável por 67,1% dos impactos ambientais do ciclo de vida da atividade, teve-se que o deslocamento originado pela disposição de resíduos no aterro sanitário foi a etapa que apresentou maior carga ambiental negativa. Desses resíduos, mais da metade referiu-se à parte orgânica, representada por restos de alimentos de funcionários e aqueles descartados pelos visitantes.

A DPR possui áreas verdes, utiliza máquinas agrícolas e, inclusive, aborda o tema compostagem nas visitas monitoradas e cursos de formação de educadores. Assim, uma ação para a diminuição de impactos ambientais negativos seria a compostagem da fração orgânica originada tanto por funcionários como visitantes.

Além de ser uma prática que pode ser adotada em curto prazo, uma simulação no programa computacional

SimaPro 7.3.0 demonstrou que caso todo o resíduo orgânico passasse pela decomposição orgânica na própria unidade ao invés de ser aterrado, haveria uma diminuição de cerca de 37% dos impactos ambientais em relação ao cenário original obtido para o ano de 2016. Observa-se o exemplo do parque zoológico, o qual pos-

sui uma Unidade de Produção de Composto Orgânico no qual, a partir da decomposição orgânica de todos os resíduos orgânicos produzidos, tanto de funcionários quanto de visitantes, como carcaças e fezes de animais e aqueles decorrentes da varrição, tem-se composto orgânico (utilizado inclusive na DPR) (DUTRA, 2018).

## A avaliação do ciclo de vida como uma ferramenta educativa e de desempenho ambiental de programas educativos

Os resultados demonstram que a ACV, constantemente aplicada na gestão de resíduos e processos produtivos, pode ser utilizada na área educacional, estimando os impactos ambientais positivos e negativos de atividades e avaliando seu desempenho ambiental. Dessa forma, poderá utilizar os principais aspectos ambientais inerentes ao processo educativo, como utilização de água, eletricidade, materiais de consumo, logística, geração de resíduos e efluentes líquidos e gasosos.

Parsons (2009) realizou pesquisa semelhante ao utilizar o pensamento do ciclo de vida na identificação dos principais aspectos e impactos ambientais decorrentes de um processo educativo. O autor estimou 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 a distância, sendo que os últimos deveriam viajar ao menos duas vezes ao ano até a universidade.

Os impactos predominantes foram na emissão de gases causadores do efeito estufa devido ao uso de eletricidade (já que a combustão do carvão produz a maior parte da eletricidade na Austrália) e referentes à logística. Como a maior parte dos alunos pertencia ao ensino a distância, as contribuições relacionadas ao uso da água e eletricidade do campus não foram significativas no primeiro momento. Porém, os alunos faziam uso de eletricidade para estudar e realizar atividades on-line em seus domicílios, somando-se, ainda, a logística tanto dos servidores da faculdade como das viagens dos alunos para aulas presenciais obrigatórias (existindo alunos até de fora da Austrália). Destaca-se que o uso de eletricidade e emissões de gases causadores do efeito estufa foram os mais significativos na avaliação do ciclo de vida das duas modalidades de ensino estudadas (PARSONS, 2009).

O enfoque de ciclo de vida e a ACV podem ser estendidos a diversas outras práticas de educação, bem

como em outras tomadas de decisão. Como exemplo, poder-se-ia avaliar uma fase de uma atividade, como aquela que se baseia na distribuição de folhetos, permitindo a comparação de impactos ambientais benéficos e impactos ambientais negativos, ou seja, disseminação de informações *versus* consumo de recursos naturais e geração de resíduos. Além de agir como uma ferramenta de avaliação, o conceito pode ser trabalhado e inserido em processos educativos.

Almeida, Toppa e De Fiori (2017) estudaram a introdução da área de preservação permanente (APA) de Itupararanga no ensino de alunos de Ibiúna, um dos oito municípios de sua abrangência. Os autores concluíram que a introdução do conceito é capaz de trazer contribuições significativas ao aprendizado, entretanto identificaram as dificuldades dessa inserção.

A APA é uma unidade de conservação com características ambientais relevantes e a de Itupararanga, além dos valores ambientais, possui utilização para o lazer da comunidade, cultivos agrícolas e construção de residenciais. Mesmo sem a visitação, é possível levar o conceito de ciclo de vida aos alunos, evidenciando os aspectos ambientais das diversas atividades que fazem parte da APA, como os insumos utilizados e os impactos ambientais decorrentes do ciclo de vida das atividades de cultivo; os impactos ambientais decorrentes da fase de construção (atividades de logística, materiais de construção, geração de resíduos) e utilização das residências (utilização de recursos naturais e geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos). Até mesmo o lazer pode ter seu ciclo de vida analisado, pois as visitas consumirão combustíveis fósseis para o transporte dos visitantes, além da geração de emissões atmosféricas (que ficarão suspensas na área da APA) e resíduos; entretanto, haverá a percepção das belezas naturais e sua importância em nosso cotidiano, podendo fortalecer a consciência ambiental dos visitantes. Dessa forma, é possível comparar os impactos benéficos da APA com

os impactos negativos gerados por ela, agregando-se as contribuições sociais (lazer e valorização ambiental) e econômicas (cultivos), além de instigar os estudantes a discutirem sobre a conservação da APA.

Sempre que possível, estudos de ACV devem ter outras ferramentas agregadas, como as de valoração econômica, social e cultural, fornecendo resultados amplos e que impactarão nas discussões sobre sustentabilidade.

## CONCLUSÃO

A educação ambiental é capaz de trazer a temática ambiental ao cotidiano das pessoas, contribuindo para uma mudança comportamental e na busca pelo desenvolvimento sustentável.

O programa Fazenda Legal, da DPR, contribuiu para a formação de uma consciência ecológica, formando educadores e conscientizando alunos por meio de abordagens e atividades ambientais. Entretanto, além dos impactos ambientais e sociais positivos, como todo processo e serviço, gerou impactos ambientais negativos.

Dos impactos do ciclo de vida gerados por essa atividade, 67,1% corresponderam ao deslocamento de resíduos não reciclados ao aterro sanitário, sendo a fração orgânica gerada em maior quantidade e, consequentemente, com maior parcela de impactos. Dessa forma, uma alternativa para a diminuição de impactos ambientais negativos seria a compostagem desses resíduos, visto que a unidade possui áreas para a realização da prática e para o aproveitamento do composto gerado na forma de fertilizante, constituindo uma ação

que pode ser adotada em curto prazo. Esse aproveitamento promoveria a diminuição de 37% dos impactos ambientais negativos, contribuindo para a melhoria do desempenho ambiental da atividade e do sistema de gestão ambiental empregado na unidade.

Além disso, visando à melhoria contínua, tanto da unidade como do programa de educação ambiental, outras ações em médio e longo prazo devem ser consideradas e adotadas para evitar e mitigar impactos ambientais negativos, além de acentuar os positivos.

A estimativa dos impactos ambientais e os resultados obtidos demonstram que tanto o conceito de pensamento de ciclo de vida como de ACV podem ser aplicados a diversos processos educativos como uma forma de identificar os principais aspectos e impactos ambientais a serem gerenciados. Ainda, podem ser utilizados em abordagens de educação ambiental para a difusão de que impactos ambientais positivos e negativos ocorrem durante todas as etapas de um ciclo de vida, difundido a consciência ecológica.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FPZSP, por propiciar o desenvolvimento deste trabalho em suas instalações; e espe-

cialmente aos responsáveis pela Divisão de Produção Rural e pela gestão e educação ambiental na unidade.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, G. G.; TOPPA, R. H.; DE FIORI, A. Potencialidades pedagógicas da área de proteção ambiental Itupararanga: percepções de educadores e educandos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 45, p. 71-85, 2017. <http://doi.org/10.5327/Z2176-947820170156>

ASHMAWY, I. K. I. M. NGO involvement in zoo management: a myth or a reality? *Environment, Development and Sustainability*, v. 20, n. 4, p. 1873-1887, 2018. <http://doi.org/10.1007/s10668-017-9939-3>

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *ABNT Catálogo*. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

\_\_\_\_\_. *NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 21 p.

BARBIERI, J. C.; SILVA, D. Desenvolvimento sustentável e educação ambiental: uma trajetória comum com muitos desafios. *Revista de Administração Mackenzie*, v. 12, n. 3, p. 51-82, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1678-69712011000300004>

BRASIL. Lei nº 9.975, de 27 de abril de 1997. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, 1997.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. *Um pouco da história da educação ambiental*. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2016. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/secad/arquivos/pdf/educacaoambiental/historia.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2016.

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*, v. 17, n. 1, p. 77-85, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662013000100011>

CURRAN, M. A. *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, 2006. 88 p.

DIAS, G. F. *Educação Ambiental: Princípios e práticas*. 9. ed. São Paulo: Gaia, 2004. 551 p.

DOKA, G. *Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services*. Ecoinvent Report nº 13. St Gallen: Swiss Centre for life Cycle Inventories, 2003. p. 1-111

DUTRA, A. C. *Impactos ambientais de uma unidade agropecuária estimados pela avaliação do ciclo de vida*. 2018. 126 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2018.

FENGLER, F. H.; MEDEIROS, G. A.; RIBEIRO, A. I.; PECHE FILHO, A.; MORAES, J. F. L.; BRESSANE, A. Desenvolvimento da percepção ambiental de alunos de pós-graduação em Ciências Ambientais da Unesp Sorocaba por meio da abordagem construtivista de ensino. *Revista Brasileira de Pós-Graduação*, v. 12, n.29, p. 805-834, 2015. <http://dx.doi.org/10.21713/2358-2332.2015.v12.857>

FUNDAÇÃO PARQUE ZOOLOGICO DE SÃO PAULO (FPZSP). *Relatório Anual 2012*. São Paulo: Dfuse Design, 2013. 78 p.

\_\_\_\_\_. *Relatório Anual 2016*. São Paulo: Editoria de Arte, 2017. 104 p.

GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. *The Eco-indicator 99: a damage oriented method for life cycle impact assessment*. Methodology Report. Pre Consultants, 2001.

GRIGOL, A. A. A. E. S.; MEDEIROS, G. A.; RIBEIRO, A. I.; LORENÇO, R. W.; TOMAZ, I. S. F.; MARIN, A. M. O. Gestão ambiental em Centro de Experimentos Florestais na Região de Itu - SP: diagnóstico dos aspectos e impactos ambientais e potencialidade do reúso da água. *Engenharia Ambiental*, v. 10, n. 3, p. 39-55, 2013.

HELLWEG, S.; CANALS, L. M. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science*, v. 344, n. 6188, p. 1109-1113, 2014. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1248361>

KIKUCHI-UEHARA, E.; NAKATANI, J.; HIRAO, M. 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.030>

LAURENT, A.; BAKAS, I.; CLAVREUL, J.; BERNSTAD, A.; NIERO, M.; GENTIL, E.; HAUSCHILD, M. Z.; CHRISTENSEN, T. H. 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. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.10.045>

LAURENT, A.; CLAVREUL, J.; BERNSTAD, A.; BAKAS, I.; NIERO, M.; GENTIL, E.; CHRISTENSEN, T. H.; HAUSCHILD, M. Z. 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. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.12.004>

LUTINSKI, J. A.; ILHA, C.; LUTINSKI, C. J.; BAUCKE, L.; BUSATO, M. A.; GARCIA, F. R. Ant fauna associated with areas under the direct impact of small hydropower plant in the State of Paraná, Brazil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 46, p. 2-13, 2017. <http://dx.doi.org/10.5327/Z2176-947820170196>

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. 3-16, 2012.

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

NAKAJIMA, K.; HIRAYAMA, Y.; HONDO, H. 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. <https://doi.org/10.3370/lca.7.84>

PAES, M. X.; MANCINI, S. D.; MEDEIROS, G. A.; BORTOLETO, A. P.; KULAY, L. A. Life cycle assessment as a diagnostic and planning tool for waste management - a case study in a Brazilian municipality. *Journal of Solid Waste Technology and Management*, v. 44, n. 3, p. 259-269, 2018. <http://dx.doi.org/10.5276/JSWTM.2018.259>

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. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0045-5>

SADI JUNIOR, H. T.; AMORIM, J. C.; RIBEIRO, A. G. C.; FIA, R. Coleta seletiva: influência nos hábitos de descarte da população em Lavras, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 43, p. 49-63, 2017. <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820170097>

Sociedade Zoológicos e Aquários do Brasil (SZB). *Lista de zoológicos e aquários do Brasil, divididos por regiões*. Brasil: SZB, 2017. Disponível em: <<http://www.szb.org.br/arquivos/zoos-e-aquarios-brasil.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

UYANIK, G. Effect of environmental education based on transformational learning theory on perceptions towards environmental problems and permanency of learning. *International Electronic Journal of Environmental Education*, v. 6, n. 2, p. 126-140, 2016.

