

**Eixo Temático: Estratégia e Internacionalização de Empresas**

## **UM MODELO DE REMANUFATURA DE IMPRESSORAS EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO SUPERIOR**

Adriano Pereira, Glauco Oliveira Rodrigues, Daniel Visentini De Barcelos, Paulo Roberto Langwinski e Eugenio De Oliveira Simonetto

### **RESUMO**

Dispositivos computacionais usualmente possuem tempo de vida pré-determinado e são descartados quando deixam de funcionar, gerando grandes quantidades de lixo eletrônico. A partir da análise do ciclo de vida, busca-se diminuir impactos ambientais em cada etapa do ciclo de vida de um produto e a remanufatura pode ser uma forma de diminuir a quantidade de equipamentos descartados, colocando-os novamente em uso, contribuindo para uma gestão sustentável da cadeia de suprimentos. Este artigo defende a remanufatura de impressoras como uma forma de diminuir a quantidade de lixo eletrônico descartado, assim como reduzir os custos de aquisição de novos equipamentos. Um modelo computacional foi construído e, a partir da abordagem da Dinâmica de Sistemas, cenários foram propostos para simular o comportamento ao longo de 10 anos. Analisando-se dados de uma Instituição Federal de Ensino Superior, verificou-se que a remanufatura de impressoras pode reduzir em 2,5 vezes o volume de lixo gerado, e atingir uma economia financeira da ordem de 46%.

**Palavras-chave:** modelagem, impressoras, dinâmica de sistemas, remanufatura, análise do ciclo de vida.

### **ABSTRACT**

Computer devices usually have a known life time. They are discarded when stop to working, which generates huge electronic waste volumes. The Life Cycle Assessment aims to reduce environmental impacts at each life cycle stage of a product. Remanufacturing could be a way to decrease discarded equipments, putting them in use again, which helps the Green Supply-Chain Management. This paper defends printers remanufacturing as a way to reduce electronic waste and new equipments acquisition costs. A computer model was built and, through Dynamic Systems approach, scenarios was proposed, in order to simulate a 10 years behavior. Based on a Federal University, it was checked that printers remanufacturing could generates 2.5 less e-waste, and it saves around 46% of costs.

## INTRODUÇÃO

A evolução das tecnologias da informação tende a facilitar as nossas vidas, com equipamentos que auxiliam a solução de problemas e automatizam tarefas. Em contrapartida, os dispositivos eletrônicos usualmente possuem vida útil predefinida: após determinado tempo de uso, geralmente determinado pelo fabricante, os aparelhos tendem a deixar de funcionar tornando-se “lixo eletrônico”. Quando mal descartados, estes equipamentos causam prejuízos ao meio ambiente, que vão desde a criação de lixões com centenas de milhões de dispositivos, até o ocasionamento de doenças, em virtude das substâncias tóxicas presentes nos aparelhos (FERREIRA E FERREIRA, 2008). É preciso, portanto, buscar formas de amenizar as consequências do consumo elevado, que combinado à obsolescência programada e o intenso ritmo de inovação, acabam por tornar grande parte dos equipamentos eletrônicos sucata tecnológica em períodos curtos de tempo (ROCHA et. al, 2010).

As revoluções da qualidade, nos anos 1980, e da cadeia de suprimentos, nos anos 1990, trouxeram à tona a necessidade de integração de questões ambientais na gestão de organizações (SRIVASTAVA, 2007). Surge, assim, a Gestão Sustentável da Cadeia de Suprimentos (*Green Supply-Chain Management - GSCM*), direcionada, tanto pela pressão dos consumidores quanto pela regulamentação, buscando diminuir os impactos ambientais e atingir maiores lucros (SRIVASTAVA, 2007). Dessa forma, passa-se a ter uma postura proativa, sendo implementada pela redução, reuso, retrabalho, remanufatura, recuperação, restauração, reciclagem, reabastecimento, logística reversa, entre outros “Rs” (SRIVASTAVA, 2007).

O Ciclo de Vida de um produto engloba todos os seus estados, desde a extração das matérias primas para sua construção, até sua volta para a natureza (ISO 14040:2006). Por sua vez, a Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica que busca verificar os impactos ambientais relacionados a um produto ao longo do seu Ciclo de Vida, identificando pontos de melhoria nesse ciclo (XAVIER E CALDEIRA, P., 2004). Dessa forma, a análise do ciclo de vida de dispositivos eletrônicos pode indicar formas de reaproveitamento, contribuindo para a gestão sustentável da cadeia de suprimentos.

Grandes instituições precisam manter grandes parques tecnológicos. Este é o caso das Instituições de Ensino Superior (IES), em especial, que mantêm equipamentos eletrônicos tanto para a realização de suas atividades-fins, como ensino, pesquisa e a extensão, quanto meio, como os processos de administração/gestão. Os equipamentos dessas instituições precisam ser corretamente descartados, à medida que são postos em desuso, e novos equipamentos precisam ser adquiridos para substituí-los, ou devido à necessidade.

As impressoras fazem parte desse conjunto de equipamentos eletrônicos, e usualmente são descartadas quando ficam obsoletas ou param de funcionar, sendo substituídas por outras novas. Trabalhos vêm sendo desenvolvidos para buscar um destino para o lixo eletrônico através da remanufatura (SIMONETTO *et al.*, 2016; SCHNEIDER *et al.*, 2015), porém têm foco principal em computadores. Pouco se tem estudado em relação à remanufatura de impressoras, embora o reaproveitamento de seus toners e cartuchos tenha sido tema de trabalhos científicos (COSTA, COELHO e COSTA, (2006); HUANG e SARTORI, (2012); MOURA, OLIVEIRA e AFONSO, (2012); SILVA, 2012)

Neste contexto, este artigo defende a remanufatura como uma alternativa para o descarte de impressoras defeituosas, e tem como objetivo a construção de um modelo computacional com base na Dinâmica de Sistemas que possibilite a análise dos impactos econômicos e ambientais da remanufatura de impressoras ao longo do tempo. Para a simulação a simulação, serão utilizados dados de uma Instituição Federal de Ensino Superior, porém, o modelo pode ser empregado em outras situações com os devidos ajustes. Este trabalho considerou a remanufatura como a reabilitação de um dispositivo com defeito, a

partir do reaproveitamento de peças de outros equipamentos defeituosos, ou seja, recuperar uma impressora substituindo suas peças defeituosas por peças de outras impressoras que também seriam descartadas.

O artigo está organizado em 5 seções. A seção 2 traz uma revisão da literatura sobre os assuntos abordados; a seção 3 traz o modelo computacional desenvolvido para a análise dos impactos econômicos e ambientais da remanufatura das impressoras; já a seção 4 discute os resultados da simulação, utilizando dados de uma IES federal; e, por fim, a seção 5 fecha o trabalho com as discussões e considerações finais.

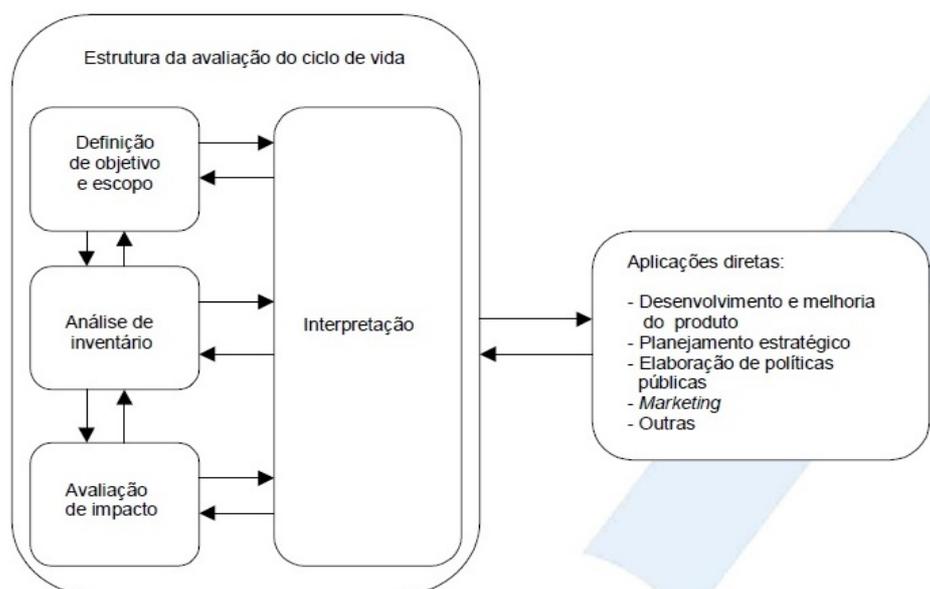
## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção do trabalho discute os principais temas envolvidos, a saber: análise do ciclo de vida e remanufatura.

### 2.1 ANÁLISE DE CICLO DE VIDA

Pode-se considerar que o interesse pela avaliação do ciclo de vida (originalmente chamado *Life Cycle Assessment*, ou LCA) inicia-se no começo da década de 1970, partindo da necessidade da Coca-Cola de melhorar a escolha por materiais usados em embalagens. Dada a difusão do uso de impressões tanto no campo de atividades pessoais quanto profissionais, fabricantes de impressoras têm se utilizado da ferramenta, premidos pela urgência de questões como desmatamento, contaminação tóxica, consumo de água, produção de resíduos e poluição do ar. As fraquezas identificadas na LCA estão relacionadas aos altos custos associados e podem ser potencialmente mitigadas pela padronização dos processos de avaliação de ciclo de vidas. Merece destaque a iniciativa da *International Organization for Standardization* que estruturou, através da ISO 14040, um modelo que relaciona a definição de objetivos e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação de resultados (BOUSQUIN, ESTERMAN e ROTHENBERG, 2011). A Figura 1 traz a estrutura da Análise do Ciclo de Vida, com suas fases, segundo a norma NBR ISO 14.040 de 2001.

Figura 1 - Fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida



Fonte: NBR ISO 14.040 (2001)

A definição do objetivo do estudo é, segundo a NBR ISO 14.040, o ponto de partida na avaliação do ciclo de vida do produto, com a definição das razões para condução do estudo e seu público-alvo. O passo seguinte, a definição do escopo, se divide em unidade funcional e fronteiras do sistema. Ainda, são feitas considerações referentes a requisitos de qualidade de dados, comparações entre os sistemas e análise crítica, colocados como requisitos necessários para a modelagem do sistema.

A unidade funcional se define como o resultado produzido pelas impressoras que permitirá que sejam comparadas. Segundo a ISO 14044 e ISO 14040 (2006), é a performance quantificada que é necessária para garantir a comparabilidade dos resultados. O estudo proposto por Stobbe (2007) analisa a questão propondo duas alternativas como possíveis unidades funcionais a serem adotadas: anos de uso (que leva em conta a vida útil do equipamento) e número de documentos ou imagens produzidas.

A questão da definição de unidade funcional traz dificuldades na medida em que existem equipamentos que reúnem mais de uma função, tais como digitalização e/ou fax. Isso que altera a base de comparação em relação a impressoras ou copiadoras tradicionais. Na proposição do número de anos como unidade funcional, o autor classifica os equipamentos segundo o tipo, incluindo a informação de período de descarte, dentro do qual o bem é colocado fora de uso. A Tabela 1 traz o ciclo de vida e período de descarte de alguns equipamentos.

Tabela 1 - Período de vida de equipamentos.

Período de descarte <sup>(2)(3)</sup>	Ciclo de vida <sup>(1)</sup>	Equipamento
3 a 5 anos	2 a 3 anos	Impressora monocromática
4 a 5 anos	2 a 3 anos	Impressora colorida
4 a 5 anos	2 a 4 anos	Copiadora monocromática
4 anos	2 a 3 anos	Copiadora colorida
3 a 5 anos	2 a 3 anos	Impressora jato-de-tinta
4 anos	2 anos	Aparelho de fax

**1)** Período em que o equipamento está em uso.

**2)** Período de tempo entre produção e descarte do equipamento

**3)** Número de equipamentos reduz um terço por ano durante o período de descarte.

Fonte: STOBBE (2007) - traduzido pelos autores.

As fronteiras do sistema determinam, segundo a NBR ISO 14040 (2001), quais as unidades de processo devem ser incluídas na análise de ciclo de vida. Entre os fatores que determinam as fronteiras do sistema, podem ser mencionados a aplicação pretendida ao estudo, as suposições feitas, os critérios de corte, as restrições de dados ou de custos, bem como o público-alvo a ser atingido.

Os requisitos de qualidade dos dados precisam ser definidos para que os objetivos e o escopo do estudo de avaliação de ciclo de vida sejam alcançados. É conveniente, segundo a norma, que sejam abordados o período de tempo, área geográfica e tecnologias cobertos, a precisão, completeza e representatividade dos dados, a consistência e reprodutibilidade dos métodos usados ao longo da avaliação, a fonte dos dados e sua representatividade e a incerteza da informação. Além disso, a norma destaca a necessidade da utilização de unidades funcionais e metodologias equivalentes, com o objetivo de permitir a comparabilidade entre

sistemas, bem como definir no escopo a responsabilidade e critérios de uma análise crítica que avalie a adesão do estudo à norma.

## 2.2 REMANUFATURA

Segundo Hatcher, Ijomah e Windmill (2013), remanufatura é o processo de devolução de um produto usado para uma condição semelhante à nova, por meio de inspeção, desmontagem, limpeza, reprocessamento, montagem e teste. A remanufatura compreende a recuperação do valor agregado de um produto, tornando-o similar a quando ele foi manufaturado pela primeira vez (GRAY e CHARTER, 2008). Ainda segundo os autores, a remanufatura reduz os gastos energéticos e custos envolvidos com a produção.

“Forças do mercado vão determinar o sucesso de práticas ambientalmente corretas como reuso, que é uma forma de reciclar que possui maior valor ambiental. Políticas e práticas de consumo consciente vão evitar a construção de barreiras para o reuso ao invés de focar na qualidade e desempenho do produto independentes do conteúdo reciclado.” (STAFF.G, 2002).

Segundo Henstock (1998), a remanufatura compreende:

- Extensão da vida útil do produto;
- Diminuição da frequência com a qual as empresas devem lidar com resíduos sólidos;
- É principalmente usada para produtos comerciais (como fotocopiadoras);
- É raramente usada para produtos domésticos devido a:
  - Mercado descentralizado e imprevisível e fornecimento de bens usados;
  - Rápidas mudanças tecnológicas;
  - Altos custos de transporte;
  - Preconceito dos clientes contra produtos remanufaturados.

Segundo o Sr. Sílvio Guimarães, Coordenador de Segurança e Meio Ambiente do Centro de Reciclagem e Destinação da Xerox, os produtos remanufaturados são bem aceitos dentro do mercado brasileiro. “O consumidor está preocupado só com a qualidade da impressão. Ele não quer saber se a máquina é remanufaturada ou não, se está imprimindo perfeitamente já é suficiente para ele”, disse Guimarães, que continuou: “Quando provamos que a performance do produto é igual à de um produto novo, o consumidor aceita na hora, ainda mais porque é mais barato para ele.”

As principais peças de uma máquina copiadora que podem ser remanufaturadas são: frasco de toner, placa de circuito, conjunto do rolo fusor, sistema óptico de imagem, conjunto de transferência de papel, rolo de transferência de segundo viés, correia de transferência, conjunto de alimentação de papel, resíduo de toner (DE BARROS, 2012).

## 3. MÉTODO DE PESQUISA

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi adotada a metodologia da modelagem computacional, com características de modelos prescritivos. Os modelos prescritivos baseiam-se na representação dos objetivos e restrições de um processo para o qual se deseja descobrir soluções otimizadas e podem ser resolvidos de maneira exata ou aproximada (GOLDBARG E LUNA, 2005). A partir de modelos, busca-se representar o mundo real de forma abstrata e simplificada, permitindo explicações ou testes de comportamento, no todo ou em partes. Segundo Goldbarg e Luna (2005), um modelo não é igual à realidade, mas suficientemente similar para que as conclusões obtidas mediante sua análise e operação possam ser entendidas

à realidade. Os modelos são sistemas das atividades humanas relevantes, traçados com o uso do conceito de entrada-saída

Modelagem Computacional é uma área de conhecimento multidisciplinar que trata da aplicação de modelos matemáticos e técnicas da computação para a análise, compreensão e estudo da fenomenologia de problemas complexos em áreas tão abrangentes quanto as engenharias, ciências exatas, biológicas, humanas, economia e ciências. São representações incompletas e mais simples do que o objeto ou sistema em questão (COSTA, 2004).

Chwif e Medina (2015), em seu livro, descrevem a modelagem computacional como uma apresentação de sistemas reais, possuindo grande importância para entender a complexidade do mundo real. Um modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade as características de tempo, estado e natureza: a partir de *softwares*, essas características capturadas são repetidas com o mesmo comportamento que o sistema real apresentaria, auxiliando o processo decisório (CHWIF E MEDINA, 2015).

Para Andrade (2006), modelagem computacional é o processo de construir modelos em *softwares* de Dinâmica de Sistemas, visando ao desenvolvimento de micromundos gerenciais. Como vantagens da modelagem computacional, tem-se: (i) a possibilidade de alterar parâmetros; (ii) a simulação da passagem do tempo; e (iii) a avaliação de influências mútuas de maneira dinâmica. A principal função do *software* é permitir a reavaliação dos modelos desenvolvidos, uma vez que o computador oferece um local seguro para experimentações que geram aprendizagem (ANDRADE, 2006).

### 3.1 DINÂMICA DE SISTEMAS

A Dinâmica de Sistemas (DS) permite o estudo do comportamento de sistemas ao longo do tempo, permitindo a avaliação das consequências da tomada de decisões. Pela necessidade de estudar os impactos da remanufatura de impressoras em um horizonte temporal futuro, decidiu-se utilizá-la junto à modelagem e simulação computacional. A DS auxilia a construção de modelos da maioria dos sistemas conhecidos para que, com apoio de *softwares*, possamos simular o comportamento destes sistemas ao longo do tempo (VENSIM, 2016).

Um modelo de DS pode ser definido como a estrutura resultante da interação de políticas. Esta estrutura é formada por dois componentes principais, que são os estoques e os fluxos. Ford (2009) define a DS como uma combinação de estoques e fluxos que utilizam uma estrutura computacional para serem simulados. Os estoques referem-se às variáveis do modelo que são acumuladas no sistema e os fluxos são as decisões ou políticas do sistema. Estes componentes podem estar organizados na forma de relações de causa e efeito, denominadas *feedback* de balanço ou de reforço e estão sujeitos às defasagens temporais no sistema em análise.

Diversos autores utilizam esta metodologia para a análise de questões relacionadas ao meio-ambiente e a sustentabilidade, dentre os quais pode-se citar os estudos de Sufian e Bala (2007); Abeliotis et al. (2009); Dyson e Chang (2005); Kum et al. (2005) e Simonetto (2014).

#### 3.1.1 Porque utilizar *System Dynamics*?

Problemas do dia a dia podem ser tratados pela metodologia de Dinâmica de Sistemas e são muito utilizadas para entender como e por que os sistemas mudam ao longo dos anos. A DS vem sendo utilizada na busca pelo melhor entendimento dos sistemas sociais e econômicos. As fronteiras do passado incluíram a criação da literatura, a exploração da terra e do espaço, os avanços nas ciências físicas. O grande desafio das próximas décadas será

avançar no conhecimento dos sistemas sociais, com a mesma competência que no passado avançamos no conhecimento do mundo físico (VENSIM, 2016).

Neste trabalho utiliza-se esta metodologia porque vai ao encontro do objetivo principal, que é avaliar em um horizonte futuro de tempo as possibilidades de benefícios ambientais e econômicos da remanufatura de impressoras

#### 4. O MODELO PROPOSTO

Para analisar os impactos econômicos e ambientais da remanufatura de impressoras no contexto de uma universidade pública federal no Brasil, um modelo de simulação computacional foi construído. As formas de obtenção de impressoras pela IES analisada, atualmente, são através da compra de novos equipamentos e pelo aluguel, com quantidade máxima de cópias pré-definidas. No modelo construído, as duas formas são incluídas, juntamente com uma terceira, que consiste na remanufatura de equipamentos que seriam destinados ao descarte.

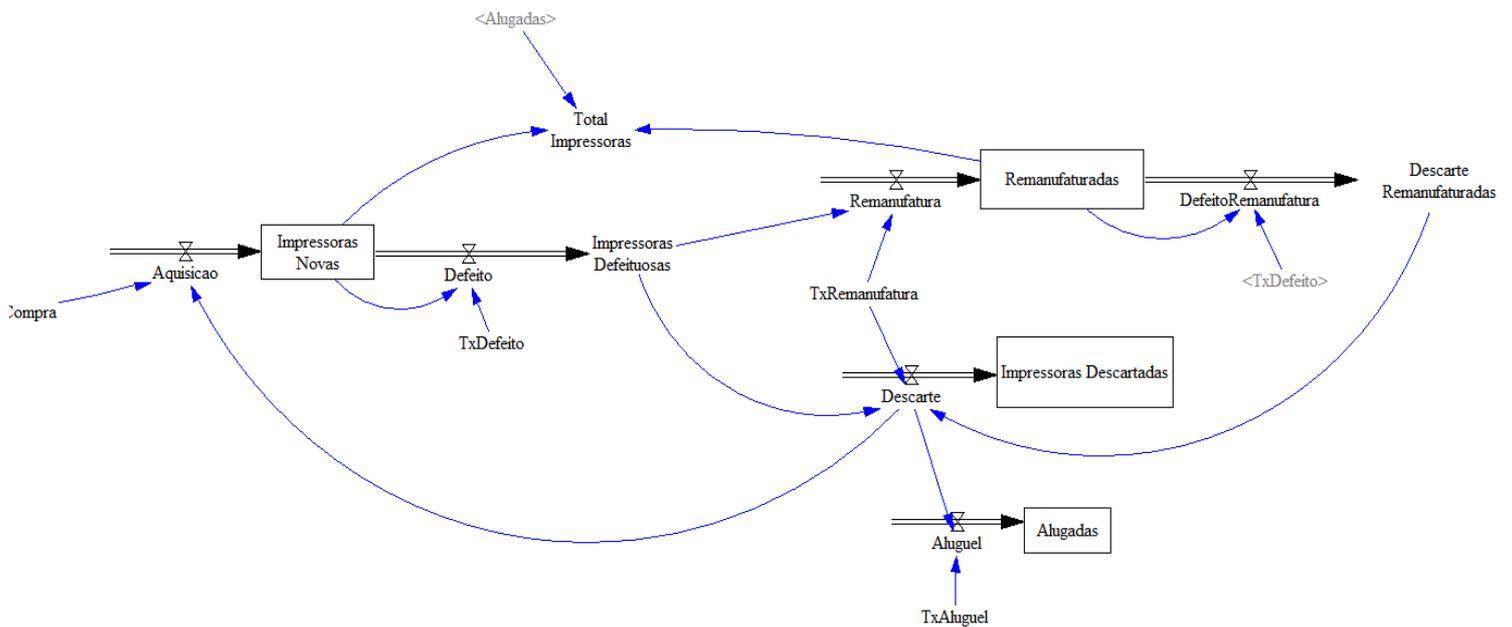
Para facilitar o entendimento, o modelo foi dividido em dois submodelos: o submodelo da quantidade de impressoras; e o submodelo impactos ambientais e econômicos. As variáveis do modelo armazenam, principalmente, a quantidade de impressoras novas, remanufaturadas e descartadas do sistema; os custos para a remanufatura, compra de novas impressoras e aluguel de impressoras; as quantidades, em kg, dos componentes das impressoras que são descartados; e o volume das impressoras descartadas. A implementação do modelo computacional foi realizada utilizando o software Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2016). A seguir, os dois submodelos são descritos.

##### 4.1 O SUBMODELO QUANTIDADE DE IMPRESSORAS

O submodelo quantidade de impressoras foi construído para calcular o número de impressoras disponíveis no sistema a cada ano, sejam elas novas – isto é, compradas, remanufaturadas ou alugadas. As impressoras novas são armazenadas em uma variável de *stock*, que tem como entrada a aquisição de novas impressoras e como saída a quantidade dessas impressoras que apresenta defeito, ou seja, ela armazena as impressoras compradas que estão em funcionamento. Quando uma impressora torna-se defeituosa, ela possui dois caminhos: ser remanufaturada ou descartada. Caso seja remanufaturada, ela alimentará o fluxo de entrada da variável de estoque **ImpressorasRemanufaturadas**, que armazena as impressoras novas que foram remanufaturadas e estão em funcionamento. Outra variável de estoque é **ImpressorasAlugadas**, que armazena a quantidade de impressoras que são alugadas, com base nas impressoras que serão descartadas, e em uma taxa de aluguel.

A variável **TxRemanufatura** indica a relação de aproveitamento da remanufatura, ou seja, a partir de quantas impressoras defeituosas pode-se gerar uma impressora em funcionamento. Já a variável **TxDefeito** informa a porcentagem de impressoras que terá defeito a cada ano. Por fim, as variáveis **TxCompra** e **TxAluguel**, respectivamente, armazenam a relação de impressoras que serão compradas ou alugadas para cada impressora descartada. Essas variáveis de taxa permitem que o usuário da simulação monte cenários que mais se adaptem às suas realidades, ou seja, qual a porcentagem de impressoras que tem defeito por ano; a partir de quantas impressoras defeituosas posso construir uma em boas condições; quantas novas impressoras serão compradas para cada impressora que será descartada; e quantas impressoras serão alugadas para cada descartada. A Figura 1 ilustra o submodelo.

Figura 1 - Submodelo quantidade de impressoras



Fonte: Autores (2017).

Os fluxos do submodelo quantidade de impressora são: (i) aquisição, que calcula a quantidade de impressoras que deve ser adquirida; (ii) defeito, que indica quantas impressoras novas, em funcionamento, têm defeito a cada ano; (iii) remanufatura, que calcula a quantidade de impressoras remanufuradas, a partir das defeituosas, em um determinado ano; (iv) defeitoRemanufatura, que verifica a quantidade de impressoras já remanufuradas que terão defeito a cada ano; (v) descarte, que realiza o cálculo da quantidade de impressoras que serão descartadas por ano; e (vi) aluguel, que calcula a quantidade de impressoras que serão alugadas, a cada ano. O Quadro 1 traz a relação de fórmulas para cada variável do modelo:

Quadro 1 - Fórmulas do Submodelo quantidade de impressoras

1. **Aquisição:**  $\text{Integer}(\text{Descarte} * \text{TxCompra})$
2. **ImpressorasNovas:**  $\text{Aquisicao} - \text{Defeito}$
3. **Defeito:**  $\text{Integer}(\text{TxDefeito} * \text{ImpressorasNovas})$
4. **ImpressorasDefeituosas:**  $\text{Defeito}$
5. **Remanufatura:**  $\text{Integer}(\text{Impressoras Defeituosas} * \text{TxRemanufatura})$
6. **Remanufaturadas:**  $\text{Remanufatura} - \text{DefeitoRemanufatura}$
7. **DefeitoRemanufatura:**  $\text{Integer}(\text{TxDefeito} * \text{Remanufaturadas})$
8. **DescarteRemanufaturadas:**  $\text{DefeitoRemanufatura}$
9. **Descarte:**  $\text{Integer}((1 - \text{TxRemanufatura}) * \text{Impressoras Defeituosas} + \text{DescarteRemanufaturadas})$
10. **ImpressorasDescartadas:**  $\text{Descarte}$
11. **Aluguel:**  $\text{Integer}(\text{TxAluguel} * \text{Descarte})$
12. **Alugadas:**  $\text{Aluguel}$

## 4.2 O SUBMODELO IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

Este submodelo busca estimar os impactos financeiros (custos) e os impactos ambientais, com relação ao descarte, decorrentes da remanufatura de impressoras defeituosas. As variáveis de *stock* deste submodelo, referentes aos impactos financeiros, são: (i) **CustoRemanufatura**, que armazena o total gasto para remanufaturar as impressoras; (ii) **CustoImpressora**, com o total gasto em aquisição de impressoras; e (iii) **CustoAluguel**, com o valor total dos alugueis de impressoras. Além disso, a variável **CustoTotal** armazena o valor total gasto, sendo a soma das outras três.

Já as variáveis de *stock* referentes aos impactos ambientais, pelo descarte, são: (i) **VolumeImpressorasDescartadas**, que verifica o volume total das impressoras descartadas, com base no volume de sua carcaça; (ii) **AcoInoxDescartado**; (iii) **LigasDescartadas**; (iv) **MisturaPlasticoMetalDescartados**; (v) **CompEletronicosDescartados**; (vi) **MetaisFerrososDescartados**; e (vi) **PlasticosDescartados**. Essas últimas variáveis foram definidas com base em Shahidian et al. (2011), e indicam o peso, em kg, dos seguintes componentes descartados, respectivamente: aço e inox, ligas, mistura e plástico e metal, componentes eletrônicos, metais ferrosos, e plásticos.

Cada variável de estoque deste submodelo recebe dados de um fluxo de entrada, com exceção do **CustoTotal**. As Figuras 2 e 3 ilustram o submodelo, separando os aspectos financeiros dos ambientais. O Quadro 2, por sua vez, sumariza as equações deste submodelo.

Figura 2 - Submodelo impactos ambientais e econômicos, enfoque econômico

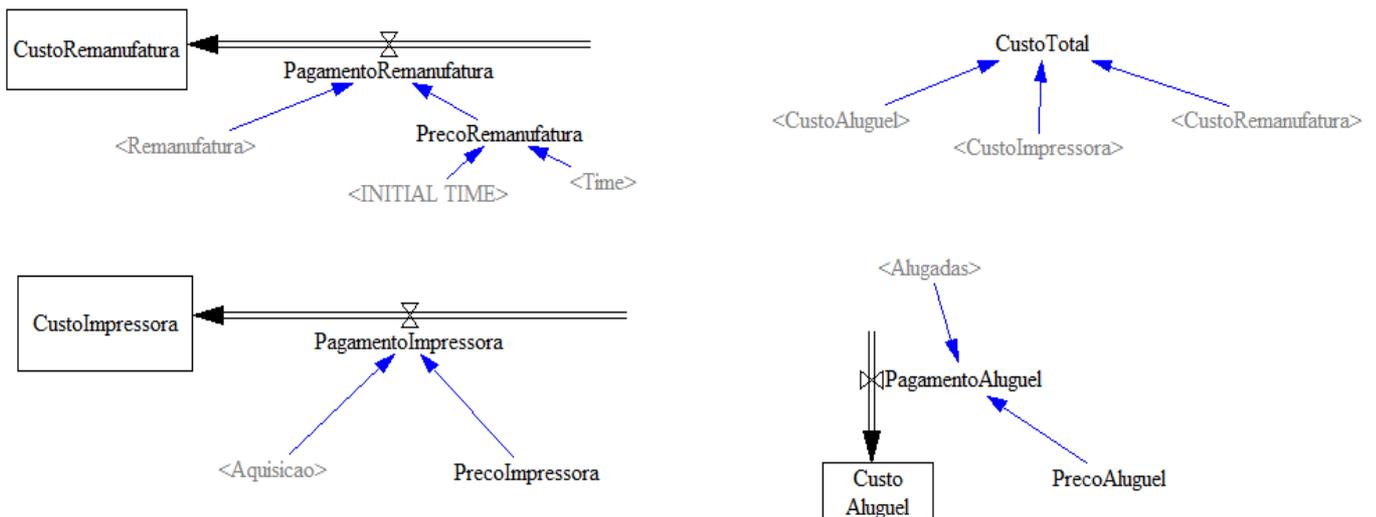
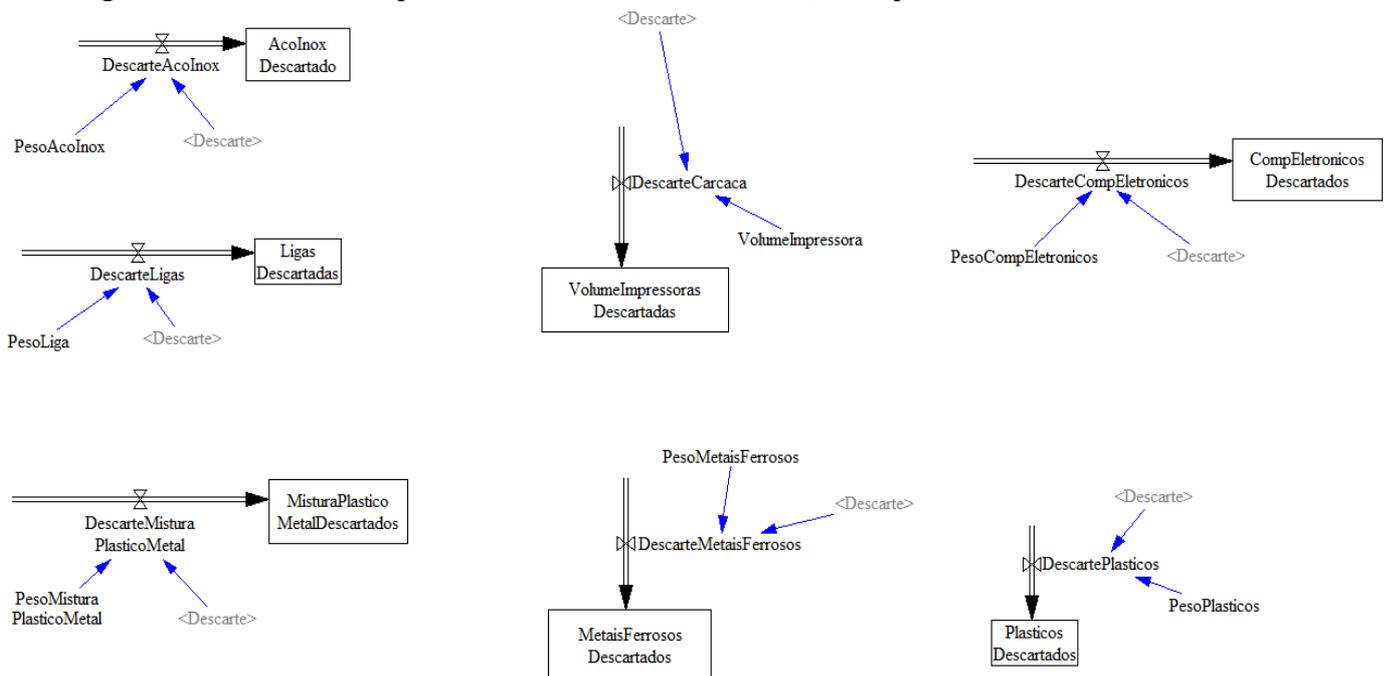


Figura 3 - Submodelo impactos ambientais e econômicos, enfoque ambiental



Quadro 2 - Fórmulas do Submodelo impactos ambientais e econômicos

1. **CustoRemanufatura:** PagamentoRemanufatura
2. **PagamentoRemanufatura:** PrecoRemanufatura\*Remanufatura
3. **CustoImpressora:** PagamentoImpressora
4. **PagamentoImpressora:** PrecoImpressora\*Aquisicao
5. **CustoAluguel:** PagamentoAluguel
6. **PagamentoAluguel:** Alugadas\*PrecoAluguel
7. **CustoTotal:** CustoAluguel+CustoImpressora+CustoRemanufatura
8. **AcoInoxDescartado:** DescarteAcoInox
9. **DescarteAcoInox:** Descarte\*PesoAcoInox
10. **VolumeImpressorasDescartadas:** DescarteCarcaca
11. **DescarteCarcaca:** Descarte\*VolumeImpressora
12. **LigasDescartadas:** DescarteLigas
13. **DescarteLigas:** Descarte\*PesoLiga
14. **MisturaPlasticoMetalDescartados:** DescarteMisturaPlasticoMetal
15. **DescarteMisturaPlasticoMetal:** Descarte\*PesoMisturaPlasticoMetal
16. **MetaisFerrososDescartados:** DescarteMetaisFerrosos
17. **DescarteMetaisFerrosos:** Descarte\*PesoMetaisFerrosos
18. **PlasticosDescartados:** DescartePlasticos
19. **DescartePlasticos:** Descarte\*PesoPlasticos

## 5. SIMULAÇÃO E RESULTADOS

Para verificar os impactos da remanufatura de impressoras, com base no modelo desenvolvido, foram construídos 4 cenários de simulação. Os cenários foram projetados com base em dados de uma Universidade Federal, e algumas de suas variáveis foram calibradas com valores fixos, para todos os cenários, enquanto que outras tiveram modificações, a fim de

verificar seus impactos ao longo de um período de 10 anos. Foram consideradas apenas impressoras a laser para uso pessoal, ou seja, impressoras jato de tinta, *plotters* e outras impressoras de maior porte foram excluídas. O número de cenários (4) foi escolhido com base em Andrade (2006)

A quantidade inicial de impressoras foi a mesma para todos os cenários, sendo 1816 - número de impressoras adquiridas desde 2005 até 2015. Os cenários foram considerados de forma a substituir impressoras defeituosas (totalmente ou em parte), ou seja, foi definido que o número atual de impressoras é suficiente para atender a demanda da universidade, e que não há necessidade de acréscimo de equipamentos, tendo em vista que as quantidades de servidores e alunos da Instituição não têm sofrido mudanças significativas.

Com base em Stobbe (2007) e Bousquin, Esterman e Rothenberg, 2011 (2011), definiu-se que o tempo de vida de uma impressora é de 5 anos, portanto, a taxa de defeito foi definida como 0,2. Já a taxa de remanufatura foi definida como  $\frac{1}{3}$ , ou seja, para cada 3 impressoras novas defeituosas, uma pode ser gerada, nos cenários em que há remanufatura. Esse valor foi obtido a partir de contato com especialistas técnicos da própria instituição que atuam na manutenção de dispositivos computacionais. Os mesmos especialistas, servidores da IES, auxiliaram a definição do valor da remanufatura: questionou-se o tempo médio gasto para a realização do serviço, sendo indicadas 4 horas. De posse dessa informação, e com base no salário de servidores do cargo responsável pela manutenção de equipamentos, o custo de remanufatura de 1 impressora foi indicado como R\$72 no primeiro ano, chegando a R\$97 no décimo ano, devido às progressões do plano de carreira.

O preço unitário da impressora foi mantido constante em R\$687,00, sendo este o valor do modelo de impressora a laser disponível para aquisição pela instituição. Optou-se por manter o valor fixo, devido à variação do valor das impressoras ao longo do período histórico analisado (2005 a 2015) sem um padrão definido. Da mesma forma, o valor anual do aluguel também foi constante ao longo dos 10 anos simulados, em R\$790,00, por ser o valor da licitação mais utilizada na instituição, atualmente, que dá direito a 1500 cópias mensais e 18000 anuais. O volume para uma impressora também foi fixo em todos os cenários, como sendo 21312cm<sup>3</sup>, volume esse do modelo de impressora mais presente na instituição. Finalmente, os valores de peso de aço e inox, ligas, mistura de plástico e metal, metais ferrosos e plásticos de cada impressora, para descarte, foi definido com base em Shahidian et al. (2011). A Tabela 2 traz as variáveis que foram fixadas em todos os cenários, com seus respectivos valores.

Tabela 2 - Valores de variáveis constantes nos cenários

Valor	Variável
1816	Número inicial de impressoras
0,2	Taxa de defeito (TxDefeito)
$\frac{1}{3}$ (quando há)	Taxa de remanufatura (TxRemanufatura)
R\$72,00 a R\$97,00	Preço de remanufatura (PrecoRemanufatura)
R\$687,00 por impressora	Preço de cada impressora (PrecoImpressora)
R\$790,00 por impressora	Preço (anual) do aluguel (PrecoAluguel)
0.4152 kg por impressora	Peso de aço e inox (PesoAcoInox)
1.3108 kg por impressora	Peso de liga (PesoLiga)

0.0465kg por impressora	Peso da mistura plástico e metal (PesoMisturaPlasticoMetal)
21312cm <sup>3</sup> por impressora	Voluma da impressora (VolumeImpressora)
0.621kg por impressora	Peso de metais ferrosos (PesoMetaisFerrosos)
2.3726 kg por impressora	Peso de plásticos (PesoPlasticos)

Os 4 cenários foram enumerados (I, II, III e IV) e definidos como descrito a seguir. A Tabela 3 traz o valor de cada variável que foi alterada em cada cenário.

- Cenário I:** considera que nenhuma impressora será remanufaturada nem alugada, ou seja, todas elas são descartadas, e novas impressoras são compradas para cada impressora defeituosa, mantendo-se sempre constante.
- Cenário II:** há remanufatura de impressora em uma taxa de 1 impressora remanufaturada para 3 estragadas, e compra de novas impressoras para cada descartada (ou seja, 2 compras para cada 3 defeituosas, e 1 compra para cada impressora remanufaturada defeituosa).
- Cenário III:** há remanufatura de 1 impressora para 3 defeituosas, e, para cada 2 impressoras descartadas, 1 nova é comprada, e 1 é alugada. Também mantém-se o número total de impressoras constante.
- Cenário IV:** há remanufatura na taxa de 1 para 3 defeituosas, mas não há compra. Para cada 5 impressoras defeituosas que serão descartadas, 1 nova é alugada. Dessa forma, atribui-se uma política de redução do número total de impressoras com o passar do tempo, utilizando o aluguel ao invés da compra.

Tabela 3 - Variáveis alteradas em cada cenário

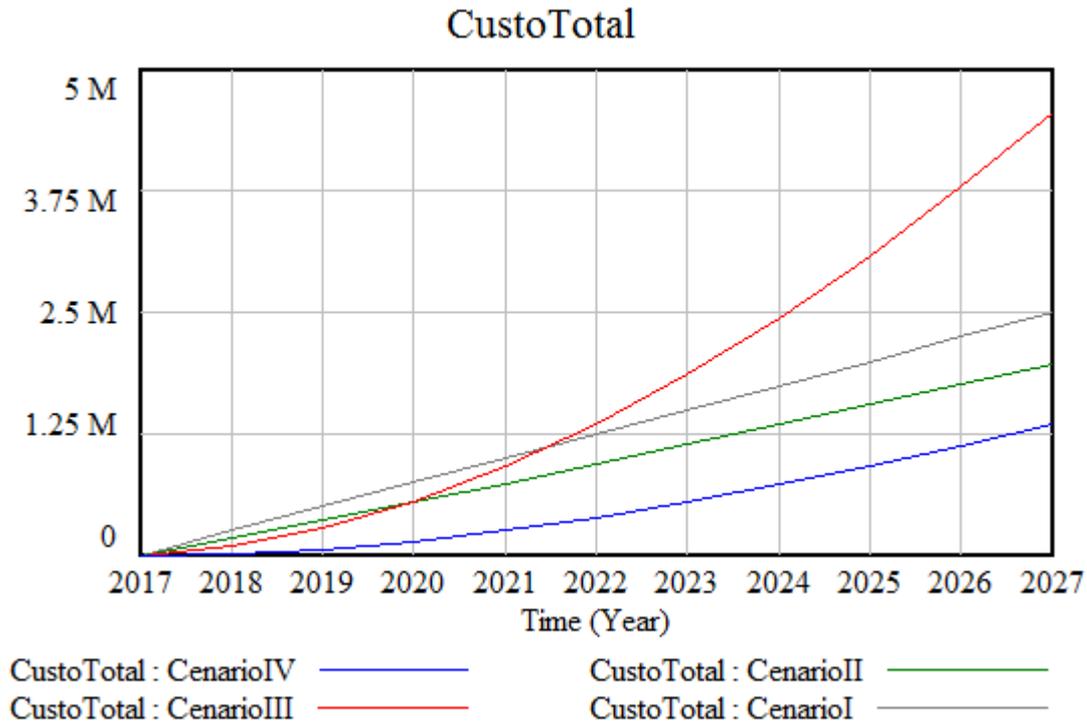
Cenário IV	Cenário III	Cenário II	Cenário I	Variável/Cenário
0	1/2	1	1	<b>TxCompra</b>
1/5	1/2	0	0	<b>TxAluguel</b>
1/3	1/3	1/3	0	<b>TxRemanufatura</b>

Após a definição dos cenários, realizaram-se simulações utilizando o modelo implementado no simulador Vensim (VENTANA SYSTEMS, 2016), em um horizonte de tempo de 10 anos. Ressalta-se que o modelo pode ser alterado, assim como novos cenários podem ser produzidos com a alteração de valores de variáveis, proporcionando aos usuários (gestores) análise do tipo “o que (acontece) se (condição estiver presente)”. Foram analisados os impactos financeiros e ambientais, discutidos a seguir.

Em relação aos custos (impactos financeiros), verifica-se no gráfico da Figura 4 que o Cenário III tem o maior custo após os 10 anos (R\$4.550.010,00), embora no início ele permaneça menor que os Cenários I e II. Isso se deve ao fato da substituição da metade das impressoras defeituosas, que seriam descartadas, por aluguel, cujo pagamento é feito por impressora anualmente. O Cenário IV é o menos custoso (R\$1.347.300,00), pois não há aquisição de novas impressoras, e 1 impressora é alugada para cada 5 descartadas. Este cenário tem um custo de 29,60% do cenário III, o mais custoso. O Cenário I, que consiste em apenas substituir as impressoras defeituosas por novas, compradas, e não realização de

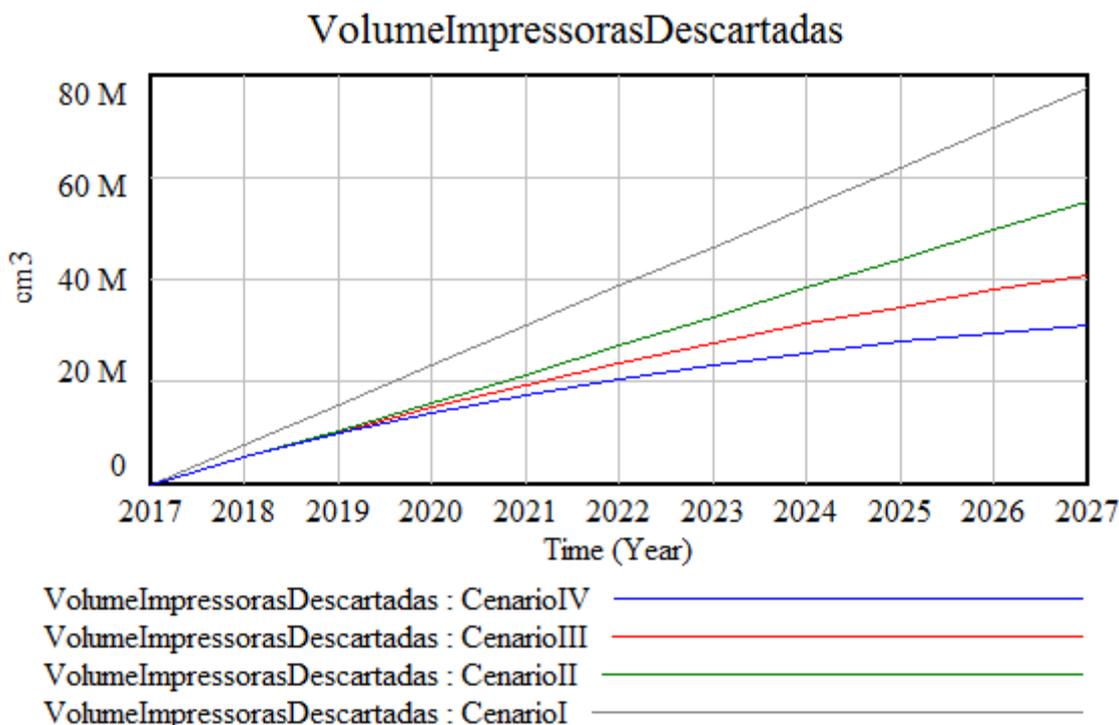
remanufatura, resulta em gastos de R\$2.493.810,00 ao final de 10 anos. Já no Cenário II, no qual há remanufatura, o gasto totaliza R\$1.966.620. Dessa forma, verifica-se que, apenas com a remanufatura, haveria uma economia na ordem de 21% dos custos. Já com a política de diminuição das impressoras (Cenário IV) gera um custo de 54% do Cenário I.

Figura 4 - Custos totais



Com relação aos impactos ambientais, verifica-se que o Cenário IV é aquele que gera menor quantidade de resíduos, o que pode ser visto pelo gráfico da Figura 5, que traz o volume de impressoras descartadas. O pior cenário é o Cenário I, que tem um descarte na ordem de 77 m<sup>3</sup>, sendo 2,5 vezes maior que o Cenário IV, que tem um descarte de 30 m<sup>3</sup>. A inclusão da remanufatura, no Cenário II, traz um ganho de cerca de 22 m<sup>3</sup>, uma vez que o descarte desse cenário chega a 55m<sup>3</sup> nos 10 anos.

Figura 5 -Volume descartado



Com relação aos componentes eletrônicos descartados, o comportamento é semelhante. A Tabela 4 resume os valores das variáveis relativas aos componentes de descarte das impressoras, sumarizando seus valores totais, em kg, acumulados até o ano de 2027. Verifica-se um comportamento semelhante ao do volume das impressoras.

Tabela 4 - Valores em kg para as variáveis dos componentes de descarte acumulados

Cenário IV	Cenário III	Cenário II	Cenário I	
601,21	796,354	1079,1	1507,18	<i>AcoInoxDescartado</i>
1898,04	2514,11	3406,77	4758,2	<i>LigasDescartadas</i>
67,332	89,187	120,854	168,795	<i>MisturaPlasticoMetalDescartados</i>
899,208	1191,08	1613,98	2254,23	<i>MetaisFerrososDescartados</i>
3435,53	4550,65	6166,39	8612,54	<i>PlasticosDescartados</i>
243,698	322,799	437,412	610,929	<i>CompEletronicosDescartados</i>

## 6. CONCLUSÕES

Se, por um lado, a evolução da tecnologia torna disponível uma grande quantidade de dispositivos eletrônicos que auxiliam a execução de tarefas rotineiras em organizações, por outro, o curto tempo de vida desses equipamentos acaba por acelerar a geração de uma grande quantidade de lixo eletrônico em poucos anos, como é o caso de impressoras. Dessa forma, torna-se necessário analisar, cada vez mais, o ciclo de vida desses equipamentos, em busca de processos que diminuam os impactos ambientais gerados por eles. A gestão sustentável da

cadeia de suprimentos prega uma postura proativa, tanto para a diminuição dos impactos ambientais, quanto para a obtenção de maiores lucros.

Este artigo propôs avaliar os impactos ambientais e financeiros da remanufatura de impressoras, no contexto de uma Instituição de Ensino Superior. Para isso, foi construído um modelo de simulação computacional, e foram avaliados 4 cenários, analisando tanto os custos, quanto o volume de dispositivos descartados e o peso de seus componentes.

Verificou-se que a remanufatura gera impactos positivos financeiramente, sendo cerca de 21% menos custosa no horizonte de 10 anos da IES analisada e, juntamente com uma política de redução de equipamentos, através do aluguel em contrapartida à compra de novas impressoras, chegou-se a uma redução da ordem de 47% dos valores gastos. De forma semelhante, o descarte foi diminuído através da remanufatura, em cerca de 22m<sup>3</sup>, de forma que o cenário com remanufatura gerou um volume de cerca de 71% do cenário sem remanufatura. Por outro lado, com a política de redução do número de impressoras, o volume gerado foi 2,5 vezes menor que o cenário sem remanufatura.

Conclui-se, portanto, que é importante buscar novos destinos para equipamentos eletrônicos antes de descartá-los, ampliando seu ciclo de vida e provendo uma gestão mais sustentável da cadeia de suprimentos. Sugere-se, dessa forma, que as organizações, como a IES estudada, empreguem esforços para implantar a remanufatura de impressoras, e que empreguem políticas na gestão da quantidade desses equipamentos, reduzindo-os através do uso de impressoras compartilhadas.

Como limitações do estudo, aponta-se a não utilização de dados de *toners* e quantidade de cópias impressas, devido à dificuldade de obtenção dessas informações, bem como a necessidade de estipular valores futuros para os preços da aquisição de equipamentos, valor da remanufatura e aluguel. Já como trabalhos futuros, busca-se tanto aprimorar o modelo, investigando outros dados que possam ser relevantes, bem como expandi-lo para levar em conta outros equipamentos como *scanners*.

## REFERÊNCIAS

ANDRADE, A.L.; SELEME, A.; RODRIGUES, L.H.; SOUTO, R.

**Pensamento Sistêmico: caderno de campo: o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade**, Porto Alegre, Bookman, 2006.

BOUSQUIN, J., ESTERMAN, M., ROTHENBERG, S. **Life Cycle Analysis in the Printing Industry: A Review**. Printing Industry Center, 2011.

CHWIF, L.; MEDINA, A.C. **Modelagem e Simulação de eventos discretos: Teoria e Aplicação**, 4ed. Elsevier. Rio de Janeiro. 2015.

COSTA F, C. F. F.; COELHO, J.L.C.B.; COSTA, M. G. F. **Indústria de cartucho de toner sob a ótica da remanufatura: estudo de caso de um processo de melhoria**. *Prod.*, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 100-110, Apr. 2006

DE BARROS, G.A. **ecodesign em máquinas copiadoras e impressoras: análise de estratégia da xerox**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FERREIRA, J. M. B., FERREIRA, A. C. **A sociedade da informação e o desafio da sucata eletrônica**. *Revista de Ciências Exatas e Tecnologia* • Vol. IIIIII, Nº. 3, p. 157-170. 2008

FORD, A. *Modeling the environment*, Second Edition. Island Press, 2009.

GOLDBARG M.C ; LUNA, H.P.L. *Otimização Combinatória e Programação Linear, Modelos e Algoritmos*. Campus5<sup>a</sup>ed, Rio de Janeiro, 2005.

- HATCHER, G. H.; IJOMAH, W. L.; WINDMILL, J. F. C. **Design for remanufacturing in China: a case study of electrical and electronic equipment.** Journal of Remanufacturing, v. 3, n. 3, p.1-11, 2013.
- HUANG, T. T.; SARTORI, V. C.; **Estudo Sobre Remanufatura de Cartuchos de Toner de Impressora de Duas Faculdades da Unicamp.** Revista Ciências do Ambiente On-Line Outubro, 2012 Volume 8, Número 2
- ISO 14040 - **Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.** ISO, 2006.
- ISO 14044 - **Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines.** ISO, 2006.
- LUNARDI, G. L., SIMÕES, R., FRIO, R. S. **TI Verde: uma análise dos principais benefícios e práticas utilizadas pelas organizações.** REAd | Porto Alegre – Edição 77 - Nº 1 – janeiro/abril 2014 – p. 1-30
- MOURA, F. P.; OLIVEIRA, R. S.; AFONSO, J. C. **Processamento de Cartuchos de Impressoras De Jato de Tinta: um Exemplo de Gestão de Produto Pós-Consumo.** Quim. Nova, Vol. 35, No. 6, 1271-1275, 2012
- NUNES, A. C. P.; CHAGAS, A. C.; CAMILO, A. & SANTOS, N. M. **A TI verde na sociedade atual.** Porto Alegre, 2012. Disponível em: <<http://www.enucomp.com.br/2012/conteudos/artigos/tiverde.pdf>>. Acesso em: 26/06/2017.
- PONTES, F. N., GIORDANO, F. **Práticas de TI Verde em uma empresa educacional para fomentar a responsabilidade socioambiental.** Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade - GeAS - Vol. 4, N. 2. Maio./ Agosto. 2015
- ROCHA, A. C., CERETTA, G. F., CARVALHO, A. P. **LIXO ELETRÔNICO: UM DESAFIO PARA A GESTÃO AMBIENTAL.** Revista TechnoEng. 2ª Edição vol. I Jul. 2010
- SCHNEIDER, J. R. et al. **Simulação baseada em systems dynamics para avaliação de cenários sobre geração e disposição de resíduos eletrônicos numa instituição de ensino superior.** In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO – SEMEAD, 18., 2015, São Paulo. Anais... São Paulo: Universidade de São Paulo, 2015.
- SILVA, P. M. F. **Logística reversa como ferramenta para diminuição dos impactos ambientais : o acondicionamento de carcaças dos cartuchos usados de toner.** 68f. Monografia (Bacharelado em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- SIMONETTO, E. O.; PUTNIK, G.; RODRIGUES, G. O.; ALVES, C.; DE CASTRO, H. **Um modelo de dinâmica de sistemas para avaliação do reaproveitamento de resíduos eletrônicos na remanufatura de computadores em uma instituição de ensino superior.** Exacta, vol. 14, núm. 3, 2016, pp. 385-402 Universidade Nove de Julho São Paulo, Brasil
- SRIVASTAVA, S. K. **Green supply-chain management: A state-of-the-art literature review.** International Journal of Management Reviews Volume 9 Issue 1 pp. 53–80. 2007
- STAFF.G . **Xerox Saved \$2 Billion Through Eco-Design and Manufacturing.** 2002. Acesso em 2017. Available from <http://www.greenbiz.com/news/2002/04/18/xerox-saved-2-billion-through-eco-design-and-manufacturing>
- STOBBE, L. . **EuP preparatory studies “Imaging equipment” (Lot 4): Final reports on tasks 1 through 8.** Berlim, Alemanha, 2007: Fraunhofer IZM. Available from [http://ecoinaging.org/finalised\\_documents.php](http://ecoinaging.org/finalised_documents.php)
- VENSIM – Ventana Simulations , **Vensim simulation software** . Disponível em:<<http://www.vensim.com>>, 2016. Acessado em jun. 2017.
- VENTANA SYSTEMS. **Vensim Simulation Software:** <http://www.vensim.com> Acessado em jun, 2017.

**XAVIER, J. H. V.; CALDEIRA, P, A. Uso Potencial da Metodologia de Análise de Ciclo de Vida (ACV) para a Caracterização de Impactos Ambientais na Agricultura. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 21, n. 2, p.311-341, maio/ago. 2004**