

Roteirização de caminho ótimo para coleta seletiva de embalagens cartonadas na região central da cidade de Embu das Artes – SP

Optimal path routing for carton packages selective collection in Embu das Artes downtown – state of Sao Paulo

Carlos Eduardo Trevisan¹, Welton Santos Xavier², Max Filipe Silva Gonçalves³

RESUMO

O trabalho foi desenvolvido com o intuito de melhorar a performance da coleta seletiva das embalagens cartonadas através da disposição de pontos de entrega voluntária ao longo da região estudada e, posteriormente, a roteirização do melhor caminho a ser utilizado por um veículo que fosse recolher o resíduo nesses pontos e leva-los à uma cooperativa local. Para tal utilizou-se da revisão da literatura sobre o tema e trabalhos semelhantes que forneceram base para os estudos, dentro da região escolhida mapeou-se os pontos eleitos para receber o resíduo do consumidor final e através de simulação computacional e programação linear descobriu-se o caminho mais curto a ser percorrido para realização da coleta. Apesar do resultado satisfatório na obtenção do caminho mínimo o baixo valor agregado do resíduo torna sua coleta semanal inviável, sendo o mais recomendado uma coleta mensal e, em conjunto, a ação do poder público como motivador legal tanto para empresas quanto população no retorno desses e demais resíduos não abordados na legislação atual.

Palavras-chave: Logística reversa. Embalagem cartonada. Embu das Artes. Roteirização.

ABSTRACT

The work was developed with the purpose of improving the performance of the selective collection of carton packages through the arrangement of voluntary delivery points throughout the studied region and, later, the routing of the best route to be used by a vehicle that would collect the residue on these points and take them to a local cooperative. To do so, a review of the literature on the subject and similar works that provided the basis for the studies was carried out. Within the chosen region, the points chosen to receive the waste from the final consumer were mapped and through computer simulation and linear programming the shortest route to be taken to carry out the collection. Despite the satisfactory result in obtaining the minimum path, the low added value of the waste makes its weekly collection impracticable, being the most recommended a monthly collection and, jointly, the action of the public power as legal motivator for both companies and population in the return of these and other waste not addressed in current legislation.

Keywords: Reverse logistics. Carton packages. Embu das Artes. Routing.

¹Universidade Presbiteriana Mackenzie- E-mail: carlos.edu63@hotmail.com;

²Graduado em Engenharia de Computação pela Universidade de São Paulo-E-mail: xavier.welton@gmail.com;

³Engenheiro de Produção, doutorando em Engenharia de Materiais e Nanotecnologia pela Universidade Presbiteriana Mackenzie-E-mail: max.goncalves@mackenzie.com.br.

INTRODUÇÃO

Na última década o mundo vivencia um aumento na velocidade de descarte dos produtos após seu primeiro uso devido ao aumento da “descartabilidade” dos mesmos, o que significa que os produtos já são concebidos para durar pouco tempo. Pereira (2012) atribui esse fenômeno ao avanço tecnológico atingido no desenvolvimento de produtos, permitindo que estes sejam lançados de forma ágil e constante, tornando-se rapidamente obsoletos. Atrelado a isso, grande déficit nos canais de distribuição reversos de pós consumo (LEITE, 2009), gera um desequilíbrio entre os materiais descartados e os reaproveitados, o que se torna a disposição do lixo urbano um dos graves problemas ambientais da atualidade.

De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2010), o setor de reciclagem brasileiro movimenta cerca de 12 bilhões por ano e está presente apenas em 8% dos municípios do país, ocasionando uma perda em torno de 8 bilhões anualmente por não reciclar os resíduos sólidos, que são encaminhados para aterros ou lixões. Informações do IBGE, indicam que somente 22 milhões de brasileiros têm acesso aos programas municipais de coleta seletiva. Apesar disso, segundo Dias (2009), as questões ambientais estão ganhando uma posição de destaque nos debates e agendas de diversos setores da sociedade como ONGS, movimentos sociais, governos, pesquisadores, ativistas ecológicos, e mais importante, empresas e consumidores. Uma das questões mais discutidas nas agendas refere-se aos resíduos sólidos, principalmente os encontrados em meios urbanos.

No Brasil um grande marco nesse cenário foi a criação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em agosto de 2010, que explica os princípios, objetivos, instrumentos e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010). Na prática a lei responsabiliza os geradores (do resíduo) e o poder público pela estruturação de redes de coleta e gestão dos resíduos sólidos, principalmente os mais agressivos ao meio ambiente, como óleos de motor.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2015) realizou um levantamento sobre a proporção de material descartado que é direcionado ao reaproveitamento. Dentre os materiais analisados as embalagens longa vida apresentam o menor índice de reciclagem, atingindo aproximadamente 30% em 2012 porém mostrando crescimento ao longo dos últimos anos. Em 1999 o índice de reaproveitamento era de 10%.

A Tetra Pak é empresa líder de mercado na comercialização de embalagens longa vida no Brasil. Detendo um *market share* de 95%, foi responsável pela produção e venda de 13 bilhões de embalagens no Brasil em 2013, de acordo com o relatório de sustentabilidade próprio divulgado bianualmente (TETRA PAK, 2013). No mesmo relatório é exposto a composição da embalagem, que consiste em camadas alternadas de plástico (polietileno),

papel e alumínio, tornando este um produto 100% reaproveitável.

Apesar do potencial reaproveitamento, segundo Abreu (2002) “o maior empecilho à expansão do sistema [de reciclagem de embalagens cartonadas] é a falta de coleta seletiva urbana”. Gonçalves e Chaves (2014) afirmam que o óleo de cozinha usado também passa pela mesma situação, havendo uma evidente lacuna entre o consumidor final e as empresas de coleta. O baixo índice no retorno das embalagens cartonadas se justifica boa parte pelo seu preço comparado à demais materiais. Em tabela divulgada no site do Centro Empresarial para Reciclagem (CEMPRE, 2017) é possível verificar que, enquanto o preço médio da tonelada de latas de alumínio está R\$ 3.190,00 o da tonelada de embalagens longa vida está R\$ 236,00, ou seja, 13,5 vezes menor.

Por se tratar de um material de baixo valor agregado o retorno das embalagens cartonadas só se torna viável caso haja a oferta de um grande volume. Sendo assim o objetivo do presente trabalho é fornecer um meio, com respaldo na simulação computacional, para aumentar a oferta de embalagens cartonadas pós-consumo que hoje são retornadas na região central cidade de Embu das Artes, de modo a disponibilizar um volume viável à cooperativa local que dá a destinação adequada ao material.

A correta destinação do resíduo auxilia na promoção de seu posicionamento na pirâmide invertida (DE BRITTO, 2004) com maior recuperação de valor, sendo utilizada a reciclagem em substituição à incineração ou aterro de forma que essas embalagens venham a ser reaproveitadas na cadeia produtiva, criando um ciclo sustentável e de reduzido impacto ambiental.

METODOLOGIA

O trabalho classifica-se como uma pesquisa aplicada que, segundo GIL (2012) são voltadas à aquisição de conhecimentos, abrangendo estudos elaborados visando aplicação numa situação específica com a finalidade de resolver problemas identificados na sociedade.

Quanto aos fins classifica-se como um estudo exploratório descritivo. Exploratório pois procura tornar o problema mais explícito, proporcionando maior familiaridade com o tema estudado; para isso utilizou-se de uma breve revisão da literatura acerca dos temas relevantes para a compreensão do trabalho. Descritivo pois, segundo Gil (2012) esse tipo de pesquisa é utilizado quando procura-se estabelecer relações entre variáveis, nesse caso consistindo da observação da mudança de roteirização conforme se altera parâmetros do sistema como a localização dos pontos de coleta ou direcionamento das vias por onde irá passar o veículo coletor.

Quanto aos meios classifica-se como uma pesquisa documental, valendo-se de uma série de documentos prontos para fornecer os dados necessários para a execução do trabalho (GIL, 2012). Esses documentos incluem levantamentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), legislações, informações em sites governamentais, etc.

Têm também o cunho de pesquisa do tipo modelagem e simulação, que visa “experimentar um modelo físico por intermédio de um modelo matemático computadorizado”, proporcionando observar o comportamento do sistema sem que seja necessário modificá-lo e/ou construí-lo (MARTINS et al., 2013). Foi utilizado o software CPLEX para a modelagem do problema por meio de Pesquisa Operacional.

Os dados de capacidade dos caminhões de coleta, tamanho da frota, frequência de coleta, destinação final do resíduo sólido e preço de venda foram obtidos através de entrevista realizada com a presidente da Cooperativa.

Devido à grande variedade de embalagens cartonadas disponíveis no mercado esse estudo foi limitado às embalagens longa-vida para comercialização de leite de vaca pasteurizado. A escolha dos pontos de entrega voluntária foi limitada à supermercados devido alta frequência de circulação de pessoas nesses estabelecimentos.

Logística reversa

A logística reversa é definida pelo *Council of Supply Chain Management Professionals* como um campo especializado da logística focado na gestão e movimentação de produtos e recursos após a venda e após a entrega ao consumidor final (CSCMP, 2013).

Segundo Pereira (2012) a logística reversa “engloba o conceito tradicional de logística” e agrega a esse as operações e ações necessárias que objetivam tanto a redução de matéria prima nos processos produtivos quanto a destinação final correta dos produtos, materiais e embalagens, sendo essa destinação o reuso, reciclagem, destinação final e/ou produção de energia. Xavier (2013) apresenta uma definição similar e afirma ser a logística reversa uma evolução da logística tradicional, que apresenta oportunidades interessantes relacionadas a negócios ambientalmente sustentáveis.

Os produtos retornados são caracterizados em produtos de pós-venda, pós-consumo e pós-industrialização (XAVIER, 2013). O primeiro consiste em produtos já comercializados que por algum motivo de defeito, garantia ou não conformidade com as especificações do cliente retornam ao produtor. O segundo trata dos produtos que já atingiram o final de sua vida útil. O terceiro aborda a reincorporação de peças, partes retrabalhadas, refugos e aparas como fontes de suprimento para a cadeia de logística reversa ainda dentro da indústria, ou seja, antes de o produto ser comercializado.

Quando o retorno se dá para a cadeia de origem ou para a fabricação de produtos similares é classificada como cadeia de ciclo fechado. Quando o retorno dos materiais e/ou componentes é destinado à fornecer insumos para a fabricação produtos diferentes esta é denominada cadeia de ciclo aberto (LEITE, 2009).

Dentro da logística reversa de pós consumo, Pereira (2012) classifica os produtos em três grandes categorias de bens: produtos duráveis, que são aqueles que duram de alguns anos a décadas (carros, casas, eletrodomésticos, eletroeletrônicos); produtos semiduráveis, cuja vida média é de alguns meses e raramente ultrapassam os dois anos

(baterias, óleos, computadores e seus periféricos); produtos descartáveis que apresentam vida média de algumas semanas, raramente superior a dois meses (embalagens, materiais para escritório, artigos cirúrgicos, pilhas, baterias, fraldas, jornais, etc).

De Brito (2004) em seu trabalho propõe cinco dimensões para a logística reversa, sendo elas: Por que receber? Por que retornar? O que está sendo retornado? Como os produtos estão sendo recuperados? Quem está realizando a recuperação.

As duas primeiras dimensões dizem respeito aos motivadores encontrados tanto pelas empresas para receber os produtos retornados quanto pelos consumidores para retornar os produtos. Segundo Leite (2009) os motivadores podem ser agrupados nas categorias: econômico, legal e socioambiental.

A terceira e quarta dimensões dizem respeito ao produto retornado em si, tanto sua descrição em termos de composição, peso, tamanho, valor, grau de deterioração, etc. quanto as possibilidades de recuperação e reuso tanto do produto com um todo quanto de suas partes.

Por fim a última dimensão diz respeito aos atores e seus papéis dentro da cadeia reversa. De Brito (2004) aponta estes como sendo: os envolvidos na logística direta (fornecedores, atacadistas, varejistas), os especialistas em cadeias reversas (pessoas e organizações dedicadas à reciclagem, cooperativas) e o setor público.

O motivador econômico de incentivo à logística reversa de pós-consumo do ponto de vista do consumidor final consiste em algum retorno financeiro e/ou material atrelado à entrega do produto retornado. Esse retorno pode ser o dinheiro da venda direta do produto, desconto em algum outro produto e/ou serviço ou o recebimento de algum outro produto.

Do ponto de vista das empresas, segundo Pereira (2012) as principais fontes de economia e ganhos financeiros gerados pela reutilização dos recursos são: as diferenças de preço entre as matérias-primas primárias e secundárias, as economias adquiridas na quantidade de energia elétrica ou outras fontes de energias, as economias obtidas pela substituição de matérias-primas virgens por recicladas e por último as economias alcançadas pelo investimento em fábricas de reciclados por apresentar um custo menor de investimento.

Como nem sempre o retorno gera ganhos econômicos às empresas há a necessidade de intervenção do Estado em algumas questões da logística reversa, principalmente quando o resíduo em questão apresenta grande risco ambiental, consistindo esse o motivador legal. Pereira (2012) aponta a existência de uma série de estudos e ações iniciadas no campo da logística reversa desde o século XX, tomando força no século XXI. Segundo o autor “tais ações partem a princípio do poder público nas questões atinentes à coleta e tratamento de lixo industrial e urbano”. Ainda segundo o autor as empresas estão investindo cada vez mais na gestão do ciclo de vida de seus produtos.

No Brasil, segundo Xavier (2013), a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) é “o principal instrumento regulador que define o conceito e a implantação da Logística

Reversa do Brasil”. Nela encontram-se definições de logística reversa, resíduos sólidos, uma classificação dos resíduos sólidos, tipos de resíduos e embalagens que devem ser obrigatoriamente tratados pelas empresas. Há também a apresentação da responsabilidade compartilhada, onde a redução do volume de resíduos se torna uma responsabilidade de toda a cadeia que o gera, desde o fabricante ao consumidor final, passando ainda pelo poder público, ao qual é atribuída a responsabilidade sobre o planejamento e execução da logística reversa para esses resíduos (BRASIL, 2010)

Anteriormente à lei da PNRS, a gestão dos resíduos sólidos foi tratada em âmbito estadual, sendo implementada a política estadual de resíduos sólidos (PERS) pelo governo do estado de São Paulo, visando a regulamentação dos municípios e a implementação dos planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos (PMGIRS) (SÃO PAULO, 2006).

Pereira (2012) aponta o surgimento de um novo perfil de consumidor, mais consciente e exigente com as questões de ordem ambiental. Xavier (2013) cita o interesse do consumidor não só nos impactos negativos dos produtos na fase pós consumo, mas também com as informações de matéria-prima e meios de produção utilizados. Ou seja, a sociedade está exigindo cada vez mais transparência e responsabilidade ambiental das empresas. Estas, por sua vez, visando manter e/ou melhorar sua imagem perante a comunidade, adere, entre outras ferramentas, à utilização da logística reversa como meio de tratamento e disposição de seus resíduos e de seus produtos pós-consumo. Assim, a pressão social para questões de âmbito ambiental, o interesse da empresa em manter sua imagem corporativa e até mesmo a preocupação que a própria empresa venha a ter com seus resíduos e produtos caracterizam o motivador socioambiental para utilização da logística reversa.

Na dimensão de como os produtos estão sendo recuperados, De Brito (2004) agrupa as diversas alternativas em classes em forma de pirâmide invertida (Figura 1).

Figura 1 – Pirâmide invertida



Fonte: adaptado de DE BRITO (2004)

O processo de revenda/redistribuição é aquele onde, ao fim de sua vida útil o produto é reinserido no mercado através da venda direta a outro consumidor ou ao retorno à

uma empresa que fará a reinserção desse no mercado. Um exemplo desse processo é a compra e venda de carros usados.

A seguir tem-se a opção de reparo, que consiste em pequenos concertos no produto para que esse se torne apto à ser reinserido no mercado de segunda linha. Nesse nível utiliza-se como exemplo uma pintura que seja necessária para um produto estar apto ao reuso.

O recondicionamento envolve a substituição de um ou mais subsistemas inteiros do produto, retornando este às mesmas condições, ou melhores, de um produto novo, bastante utilizada no mercado de celulares usados.

A remanufatura consiste no aproveitamento dos componentes do produto retornado na fabricação de outros produtos, sejam eles iguais ou diferentes do original. Já o reaproveitamento utiliza-se partes de outros equipamentos para reparar o produto original.

A reciclagem consiste na recuperação dos materiais que compõem o produto para que estes sirvam de matéria prima para outros processos. Geralmente envolve a trituração e separação dos materiais e seu direcionamento à outras linhas de produção. Exemplos disso são a reciclagem de papel, vidro, alumínio, etc.

Por fim, quando nenhuma das opções propostas é viável, como última alternativa de recuperação de valor destina-se para incineração, que pode servir como fonte de energia para outros processos. Um exemplo é a utilização do bagaço da cana-de-açúcar (resíduo do processo de moagem) como combustível para os fornos que fervem o caldo da cana (etapa posterior do processo de produção de açúcar).

De Brito (2004) afirma que, em se tratando dos processos de recuperação, caso haja mercado disponível para mais de uma das as opções, é recomendável que estas sejam escolhidas de cima para baixo na pirâmide.

Embalagem cartonada

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 41,3% de todo o resíduo coletado no Brasil em 2015 teve disposição final inadequada.

Segundo a Associação Brasileira de Fabricantes de Latas de Alumínio, o modelo de logística reversa aplicada às latas de alumínio serviu de base para a elaboração da PNRS (ABRALATAS, 2010). De fato, em termos de reciclagem dessa embalagem, o Brasil é líder mundial, sendo responsável pelo retorno e reaproveitamento de quase 100% das latas comercializadas. Em 2014 o retorno foi de 98,4% sendo o 11º ano consecutivo em que o índice fica acima dos 90%.

Outro material de destaque são as embalagens de resina de politereftalato de etileno, mais conhecidas como garrafas PET, muito utilizadas no dia-a-dia da população. Segundo o IBGE essas embalagens tem um índice de reciclagem atualmente em torno de 50%. Além disso, segundo a Associação Brasileira da Indústria do PET, a reciclagem do material no Brasil é uma das mais desenvolvidas do mundo e a gama de possibilidades de reaproveitamento é enorme, criando uma demanda constante e garantida (ABRALATAS, 2010).

Isso mostra o potencial que o país tem para se tornar referência nos temas de logística reversa e reciclagem. Um item 100% aproveitável, mas que ainda não recebe muita atenção dos programas de logística reversa e gestão de resíduos sólidos são as embalagens cartonadas.

De acordo com Cerqueira (2000) as embalagens cartonadas, também conhecidas como longa vida ou Tetra Pak são constituídas por três materiais: papel, polietileno e alumínio. O papel equivale à aproximadamente 75% da composição da embalagem em peso. Este item tem como objetivo prover o suporte mecânico à embalagem e receber a impressão. O polietileno, correspondente à 20% da embalagem em peso, possui a função de evitar o contato do alumínio presente na embalagem com o alimento, isolar o papel da umidade e funcionar como elemento de adesão para os outros materiais presentes na embalagem. O Alumínio, correspondente à 5% da embalagem em peso, tem o objetivo de evitar a passagem de luz, calor, oxigênio e micro-organismos que possam entrar em contato com o alimento. (BORGES, 2007)

A reciclagem da embalagem é dividida em duas etapas: a primeira etapa da reciclagem consiste na extração do papel. Segundo Abreu (2002), o reduzido interesse da reciclagem da embalagem Tetra Pak pelas fábricas de papel tem como principal impeditivo a carência de conhecimento, preparação e equipamentos para trabalhar com uma matéria prima que gera até 25% de rejeitos sólidos (polietileno e alumínio) no desagregador, tornando-se necessário a frequente limpeza do equipamento. De acordo com Lima, Macedo e Azevedo (2014), nesta etapa um equipamento chamado "hidrapulper", que funciona como um

liquidificador gigante, separa as fibras de papel das camadas de plástico e alumínio durante a agitação do material com água, sem o uso de produtos químicos. Atualmente vinte fábricas de papel em todo o país tem a tecnologia para separar a matéria prima. As fibras de papel, após a purificação e lavagem podem ser usadas para produção e confecção de papelão e material gráfico.

A segunda etapa da reciclagem fundamenta-se dos materiais restantes, polietileno e alumínio. Nesta etapa a utilização destes materiais para produção de placas e telhas é viabilizada Cerqueira (2000). Outro processo de reciclagem que permite a produção de outros itens acontece nas fábricas de processamento de plásticos. Esses materiais são reciclados através de processos de secagem, trituração, extrusão e injeção, sendo usados para produção de peças plásticas como cabos de pá, vassouras, coletores e outros (LIMA; MACEDO; AZEVEDO, 2014).

Ainda de acordo com Cerqueira (2000), as telhas e placas produzidas a partir da reciclagem da embalagem possuem propriedades superiores se comparadas aos padrões convencionais (produzidas a partir de fibrocimento), apresentando alta resistência à flexão, consolidando-se como um material robusto e de baixa absorção de água, este fator deve à presença do plástico na composição da embalagem, característica importante para o tipo de aplicação, principalmente em longos períodos de chuva, como indicado na tabela 1. Rosa (2015) concluiu que os resultados obtidos com a reciclagem da embalagem cartonada foram os mais satisfatórios quando comparado à outras embalagens como café e creme dental.

Tabela 1- Comparativo entre telhas de fibrocimento e plástico/alumínio

Ensaio	Parâmetros para telha de fibrocimento	Resultados Obtidos para telhas de plástico/alumínio
Resistência à flexão (N/m)	4 x 10 ³	7,63 x 10 ⁶
Absorção de água (%)	37	6,5

Fonte: Cerqueira (2000)

Segundo Lima, Macedo e Azevedo (2014), as telhas e placas produzidas através da reciclagem da Tetra Pak, composta por 25% de alumínio e 75% de polietileno, são 50% mais leves e proporciona um conforto térmico de até 80% maior do que as telhas de amianto, não sendo agressivas a saúde de quem tem contato com o material. Para fabricação de telhas com 2,20 X 0,90 cm são utilizadas cerca de 1900 embalagens longa vida, evidenciando os aspectos ambientais positivos da reciclagem deste material que leva séculos para se decompor na natureza e teria como disposição final os aterros. Este cenário, possibilita e viabiliza a utilização da embalagem Tetra Pak em aplicações correspondentes as das telhas e placas normalmente utilizadas em construções, haja visto que todos os requisitos estabelecidos para as telhas e placas foram devidamente atendidos.

A embalagem longa vida, apesar de apresentar uma melhora no índice de reciclagem no início dos anos 2000, ainda apresenta uma taxa de retorno muito baixa devido a fatores como a falta de conhecimento, preparo e equipamentos das fábricas de papel que limitam a expansão do fluxo reverso para este tipo de produto (ABREU, 2002). Diante deste contexto, nota-se um mercado disponível passivo de exploração acerca dos seus meios de retorno para o devido reaproveitamento por diversas entidades, haja visto que a utilização da embalagem reciclada em suas respectivas aplicações apresentou resultados positivos se comparados aos produtos similares, de fabricação com matéria prima virgem e até mesmo em alguns casos com a utilização de materiais reciclados provenientes de outros tipos de embalagens.

Simulação computacional e roteirização

Uma ferramenta de auxílio tanto à logística direta quanto à reversa é a simulação computacional para resolver, entre outros problemas, o de roteirização. A roteirização é definida como o “atendimento de nós de demanda geograficamente dispersos” (WU, 2017), sendo que para cada conexão entre nós há uma distância e/ou custos associados. Barão et al (2013) acrescentam a isso a restrição de que cabe ao problema de roteirização encontrar roteiros ótimos que minimizem os custos totais de atendimento.

A maior dificuldade na solução dos problemas de roteirização está no elevado número de soluções não-ótimas (TOIGO, 2007). Além disso, um aumento no número de nós de demanda a serem atendidos afeta exponencialmente o esforço computacional pois ainda não há algoritmos que resolvam os problemas de roteirização em tempo polinomial.

Segundo WU (2007), o primeiro tipo de problema de roteirização a ser estudado foi o do caixeiro viajante, que consiste em encontrar o menor caminho possível a partir de um ponto inicial, passando uma única vez por todos os pontos de demanda a serem atendidos e voltando à origem. A figura 2 mostra a formulação matemática do problema que foi implantada computacionalmente, conforme será apresentado adiante.

Figura 2 – Formulação matemática do problema do caixeiro viajante

Minimizar	$\sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n c_{ij} X_{ij}$
Sujeito à	$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \forall j \in N$ $\sum_{j=1}^n X_{ij} = 1, \forall i \in N$ $\sum_{i,j \in S} X_{ij} \leq S - 1, \forall S \subset N$ $X_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j \in N$

Fonte: adaptado de BARAO et. al (2013)

Para solução desse problema de programação linear utiliza-se uma matriz de decisão binária onde o valor de qualquer X_{ij} (sendo i o número de linhas e j o de colunas da matriz) indica se o caminho que liga o nó i ao nó j deve ou não ser utilizado. Para mais detalhes acerca desse método favor consultar os trabalhos de Barão et al, (2013) e WU (2007).

A cidade de Embu das Artes

De acordo com IBGE (2017), a cidade de Embu das Artes tem população estimada de 240.230 distribuídos em uma área de 70,398 km². O PIB per capita a preços concorrentes, segundo o IBGE (2014) é de aproximadamente 28.614,90 reais.

Inicialmente tratava-se de um distrito do município de Itapeverica da Serra, porém teve sua elevação à categoria de município em 1959 pela lei estadual 5285 de 18 de fevereiro do mesmo ano. (PREFEITURA DE EMBU DAS ARTES, 2017)

Segundo a prefeitura (2017), a cidade dispõe de dezenas de pontos de coleta de resíduo seco, uma cooperativa de tratamento de lixo (Cooperativa de Reciclagem de Matéria-Prima de Embu – COOPERMAPE) e um aterro sanitário para depósito de lixo úmido.

A cooperativa surgiu em 1997 através da união dos catadores de lixo que atuavam num lixão a céu aberto na cidade, espaço este que posteriormente veio a se tornar o aterro municipal e a sede da cooperativa. Possui caminhões próprios que realizam as coletas nos pontos de entrega voluntária (PEVs) e porta-a-porta com moradores que já realizam a separação do lixo em casa. Segundo a atual presidente de cooperativa a cidade ainda é carente de PEVs e a oferta de resíduo é baixa.

A COOPERMAPE faz parte de uma rede de cooperativas da região chamada Rede Verde Sustentável. A organização em rede das cooperativas permite que elas trabalhem juntas para vender lotes maiores de resíduo à grandes indústrias que não comprariam em pequenas quantidades.

A cidade de Embu das Artes conta com coleta seletiva de lixo urbano que é realizada por 15 veículos, contando com o trabalho de 270 pessoas. A coleta é realizada pela empresa Embu Ambiental por meio de contrato de parceria público privada. Além disso conta com o programa Coleta Seletiva que consiste no processo de conscientização, sensibilização e participação da população na efetivação de alternativas viáveis à problemática de resíduos sólidos no município, com os objetivos de disseminar a cultura do meio ambiente, efetivar uma política de tratamento aos resíduos sólidos, diminuir a quantidade de material enviado ao aterro, entre outros. Conta também com “ecopontos” para a entrega de pneus usados.

No ponto de entrega voluntária (PEV) localizado no centro da cidade ao lado do parque Francisco Rizzo, os cidadãos que levarem seu lixo reciclável recebem uma muda de uma planta nativa da cidade como agradecimento. Este pode ser considerado um fator motivacional econômico e socioambiental, considerando a classificação proposta por Xavier (2013). Segundo a administração do PEV cerca de 15 pessoas passam diariamente por lá para deixarem seus resíduos. No ano de 2013 esse PEV foi responsável pela coleta e triagem de 90 toneladas de resíduo, das 1800 toneladas coletadas em toda a cidade (PREFEITURA DE EMBU DAS ARTES, 2017).

A cidade ainda participa do programa Cidade Verde e Azul, iniciativa da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo que pontua os municípios participantes de acordo com indicadores de sustentabilidade pré-

estabelecidos, dentre eles a coleta seletiva de lixo. No ano de 2016 o município ocupava a posição de número 180 dentre mais de 500 cidades inscritas. (GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2017). Os municípios mais bem colocados podem pleitear recursos junto ao Fundo Estadual de Controle da Poluição (FECOP).

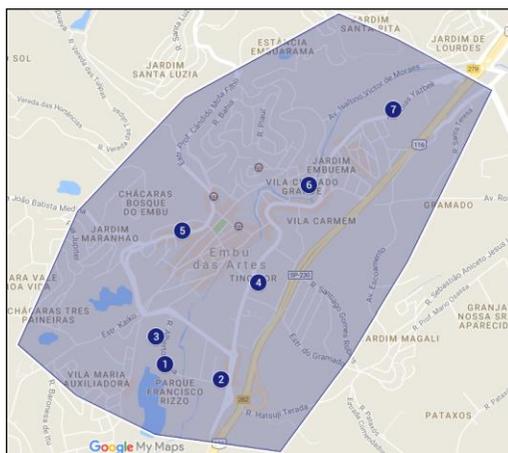
Atualmente a prefeitura gasta cerca de R\$ 800 mil para recolher 4.100 toneladas de lixo por mês na cidade, correspondente à 45% das 9.000 toneladas produzidas mensalmente. O lixo seco é transformado em produtos comercializáveis, gerando renda para as famílias que antes viviam como catadoras.

Inicialmente delimitou-se a área a ser estudada como sendo a região central da cidade de Embu das Artes, correspondente à 5 km² de território.

Posteriormente foi destacado no mapa, com auxílio do site Google Maps tanto o ponto de entrega voluntário (PEV) que há no centro da cidade (destacado como ponto 1 na figura 3), como também seis grandes mercados (numerados de 2 a 7) que foram escolhidos como ponto de coleta devido ao seu tamanho e disposição física na região. A região delimitada e os pontos demarcados podem ser verificados a seguir (Figura 3).

DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Figura 3 – Demarcação da região estudada.



Fonte: elaborado pelos autores

A seguir foi necessário identificar os caminhos de ida e volta entre todos os pontos mapeados, ou seja, tanto do PEV aos seis supermercados escolhidos quanto entre os seis supermercados, totalizando 42 distâncias mapeadas, em metros, conforme tabela 2. Os nomes reais dos supermercados e hipermercados foram omitidos.

Tendo as distâncias mapeadas em formato de matriz construiu-se a programação no software CPLEX do algoritmo de solução do problema do caixeiro viajante (figura 4), permitindo assim que o veículo que fizer a coleta passe em todos os pontos mapeados e retorne ao PEV. A figura 5 apresenta a matriz de entrada contendo todas as distâncias mapeadas, considerando as vias de mão única já existentes.

Tabela 2 – Distância em metros entre o PEV e os supermercados selecionados

DISTÂNCIAS (m)	PEV	Mercado2	Mercado3	Mercado4	Mercado5	Mercado6	Mercado7
PEV	0	376	1066	1259	1767	2446	2956
Mercado2	1433	0	1274	994	1975	2185	2695
Mercado3	159	535	0	1448	1926	2605	3115
Mercado4	1367	1058	1203	0	1904	1180	1700
Mercado5	1338	1680	1179	619	0	1594	2105
Mercado6	2269	1965	2110	893	932	0	1226
Mercado7	3971	3448	3812	1669	1694	761	0

Fonte: elaborado pelos autores

O que poderia ser um impeditivo para a rota ótima seria o fato de a oferta total de embalagens cartonadas ultrapassar a capacidade do veículo de coleta. Nesse caso o

problema deveria ser remodelado, considerando essa restrição. Esse não é o caso, uma vez que a capacidade do veículo é suficiente para atender a demanda projetada; o

veículo que já é utilizado pela empresa para circulação no centro da cidade tem capacidade entre 2.000 e 2.200 kg de carga. O que poderia inviabilizar a coleta é o volume espacial

que o material ocuparia no veículo; essa dimensão, porém, não foi considerada no presente trabalho.

Figura 4 – Algoritmo utilizado na simulação.

```

1 //Definição dos parâmetros:
2 int n = 7;
3 range pontos = 1..n;
4 float distancia[pontos][pontos] = ...;
5
6 //Variáveis de decisão
7 dvar boolean rota[pontos][pontos];
8 dvar float+ u[pontos];
9
10 //Definição da função objetivo
11 minimize
12   sum(i in pontos, j in pontos: i!=j) distancia[i][j]*rota[i][j];
13
14 //restrições
15 subject to{
16
17   flowing:
18   forall (j in pontos)
19     sum(i in pontos: i!=j) rota[i][j] == 1;
20
21   flowout:
22   forall(i in pontos)
23     sum(j in pontos: i!=j) rota[i][j] == 1;
24
25   Esubrotas:
26   forall (i in pontos, j in pontos: i>1 && j>1 && i!=j)
27     u[i]-u[j] + n * rota[i][j] <= n - 1;
28 }
    
```

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 5 – Dados de entrada do software (simulação 1)

```

1 distancia = [
2 [0 376 1066 1259 1767 2446 2956]
3 [1433 0 1274 994 1975 2185 2695]
4 [159 535 0 1448 1926 2605 3115]
5 [1367 1058 1203 0 1904 1180 1700]
6 [1338 1680 1179 619 0 1594 2105]
7 [2269 1965 2110 893 932 0 1226]
8 [3971 3448 3812 1669 1694 761 0]
9 ];
    
```

Fonte: elaborado pelos autores

Figura 6 – Matriz de resultados obtidos (simulação 1)

pontos (tamanho 7)	pontos (tamanho 7)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1
5	0	0	1	0	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0

Fonte: elaborado pelos autores

A primeira coluna da matriz indica os pontos de origem. Para encontrar o próximo ponto a ser utilizado percorre-se a linha referente ao ponto atual até encontrar o valor 1, indicando que esse caminho foi utilizado. Por exemplo, na primeira linha o número 1 aparece na coluna de número 2, indicando que do ponto 1 (PEV) deve-se dirigir ao ponto 2 (Mercado2). Do ponto 2 (segunda linha) deve-se dirigir-se ao ponto 4, e assim sucessivamente.

Para cada par de pontos (i, j) nota-se que não necessariamente o caminho de i à j é igual j à i. Com o intuito de observar os efeitos das pistas de mão única na roteirização considerou-se a menor distância entre os pontos (i, j) como sendo o caminho a ser percorrido, ou seja, todas as pistas poderiam ser utilizadas como mão dupla. Nesse cenário, o caminho ótimo seria 1 – 2 – 3 – 5 – 7 – 6 – 4 – 1, num percurso de 5697m, equivalente uma redução de 6,7% na distância.

CONCLUSÃO

Com base no trabalho desenvolvido entende-se que a estruturação da rede de logística reversa é importante para empresas e fabricantes reaverem seus produtos e/ou embalagens após estes chegarem ao consumidor final, visando retornar valor ao resíduo. Essas ações podem impactar em economia no uso de insumos, melhora na imagem corporativa, adequação à legislação vigente ou uma combinação desses três motivadores.

Como apoio aos sistemas de logística e logística reversa surgiram algoritmos matemáticos para modelar problemas típicos desse campo, como é o caso do problema do caixeiro viajante, que posteriormente puderam ser aperfeiçoados e mais adequados à realidade com o uso da simulação computacional.

Apesar da existência de legislações específicas para a gestão de resíduos, nem todos os produtos e embalagens existentes no cotidiano da população são englobados na lei. Como exemplo tem-se as embalagens cartonadas que, apesar de sua alta comercialização e possibilidades de reciclagem ainda carece de uma coleta eficiente para a destinação adequada.

Visando contribuir para o aumento da oferta de embalagens cartonadas à cooperativa local, o presente trabalho sugeriu uma rota de pouco mais de 6 km que engloba a passagem pelos pontos de entrega escolhidos para o estudo.

Caso haja um veículo exclusivo para esse resíduo a coleta semanal se torna inviável devido à baixa oferta (cerca de 420 kg), considerando que a cooperativa revende o resíduo por R\$ 0,30 o quilograma. Nesse cenário o mais adequado seria uma coleta mensal. A cooperativa já possui um caminhão que circula semanalmente pelo centro da cidade, porém a rota do veículo não é fixa e por isso não foi englobada nesse trabalho. Todavia, a existência desse veículo já torna a coleta semanal da embalagem cartonada mais tangível.

Por fim é necessária a intervenção e fiscalização por parte do poder público na questão do retorno de resíduos de baixo valor agregado, uma vez que o motivador econômico é menos presente nesses casos. Companhias também podem atuar em conjunto com a prefeitura visando a elaboração de programas de incentivo ao retorno de resíduos como exemplo do programa “Recicle mais, pague menos” da AES Brasil (2015).

Uma vez iniciadas essas ações, está aberto o espaço para a realização de estudos tanto qualitativos quanto quantitativos acerca do tema. Qualitativos para, por exemplo, levantar quais seriam os principais motivadores, do ponto de vista do consumidor final, para contribuir com a logística reversa. Qualitativos, como o estudo de alocação de novos pontos de entrega voluntária (por exemplo escolas, praças, quadras poliesportivas) tanto para embalagens cartonadas quanto para outros resíduos. Pode-se também utilizar modelagens mais complexas de roteirização para definir frequência exata, ordem de coleta e capacidade ideal dos veículos para recolher os resíduos nesses pontos com o menor custo possível de modo a promover uma melhoria

contínua da gestão dos resíduos sólidos desse e de outros municípios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRALATAS. **Reciclagem de latas de alumínio bate novo recorde mundial.** Disponível em <<http://www.abralatas.org.br/reciclagem-de-latas-de-aluminio-bate-novo-recorde-mundial/>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

ABRELP. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015.** São Paulo, 2015. 92p.

ABREU, Mário. **Reciclagem de embalagens Tetra Pak para alimentos líquidos.** 5 Congresso Mundial sobre Gerenciamento Integrado de Recurso. São Paulo, Junho de 2000. Revisado em Março de 2002

ABREU, Mario. **Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak para alimentos líquidos.** Artigos Técnicos 2002. Disponível em: <http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/2002_Reciclagem_embalagen_s_TetraPak.pdf>. Acesso em: 10 out. 2017.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**, 5ª edição. Bookman, 08/2011. [Minha Biblioteca].

BARÃO, Fábio; KRIPKA, Moacir; KRIPKA, Rosana. **Modelagem Matemática para Coleta Seletiva no Município de Passo Fundo.** Passo Fundo, 2013.

BORGES, Daliana Gomes. **Aproveitamento de Embalagens Cartonadas em compósitos de Polietileno de Baixa Densidade.** 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em:: 21 fev. 2016.

BRITO, J. R. F.; BRITO, M. A. V. P. **Qualidade do leite brasileiro e os desafios para atendimento das exigências internacionais.** In: ZOCCAL, R. et al. Leite: uma cadeia produtiva em transformação. Juiz de Fora: Embrapa Gado do Leite, 2004. P. 235-243.

BRITO, Maria Aparecida; BRITO, José Renaldi; ARCURI, Edna; LANGE, Carla; SILVA, Márcio; SOUZA, Guilherme. **Densidade Relativa.** Empresa Brasileira de pesquisa Agropecuária. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_196_21720039246.html>. Acesso em:: 25 out. 2017.

CEMPRE. **Embalagens longa vida.** São Paulo. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/9/embalagens-longa-vida>>. Acesso em: 24 mai. 2017.

- CEMPRE. **Preço do material reciclável**. Disponível em <<http://cempre.org.br/cempre-informa/id/105/preco-dos-materiais-reciclaveis>>. Acesso em: 25 de mai. de 2017.
- CSCMP. **Supply chain management terms and glossary**. Disponível em <http://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921>. Acesso em: 25 mai. 2017
- DE BRITO, Marisa P. **Managing Reverse Logistics or Reversing Logistics Management?** 2004. 327 f. Tese (Doutorado) - Curso de Research In Management, Erasmus University Rotterdam, Rotterdam, 2004. Disponível em: <[file:///C:/Users/Admin/Downloads/EPS2004035LIS_9058920585_DEBRITO\(2\).pdf](file:///C:/Users/Admin/Downloads/EPS2004035LIS_9058920585_DEBRITO(2).pdf)>. Acesso em: 10 ago. 2017.
- DE CERQUEIRA, Mario Henrique; PAK, Engenheiro de Desenvolvimento Ambiental-Tetra. **PLACAS E TELHAS PRODUZIDAS A PARTIR DA RECICLAGEM DO POLIETILENO/ALUMÍNIO PRESENTES NAS EMBALAGENS TETRA PAK**. Artigos Técnicos, Tetra Pak, 2000.
- Gil, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**, 5ª edição. Atlas, 07/2012. [Minha Biblioteca].
- GONÇALVES, Max Filipe Silva; CHAVES, Gisele de Lorena Diniz. **Perspectiva do Óleo Residual de Cozinha (ORC) no Brasil e suas dimensões na Logística Reversa**. Revistas Espacios Vol. 35 Nº8. 2014
- DIAS, Sylmara L. F. Gonçalves; **Catadores: uma perspectiva de sua inserção no campo da indústria de reciclagem** / Maria Célia Loschiavo dos Santos; orientadora. São Paulo, 2009. 298 fls.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=351500&idtema=16&search=||síntese-das-informações>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - **Panorama da cidade de Embu das Artes**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/embu-das-artes/panorama>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- IBGE. **Aquisição alimentar domiciliar per capta**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoadevida/pof/2008_2009_aquisicao/default.shtm> Acesso em: 25 out. 2017
- IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil:2015**. Rio de Janeiro, 2015. 351p.
- IPEA (Org.). **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos**. Brasília: .., 2010. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/100514_relatsau.pdf>. Acesso em: 15 out. 2017.
- LEITE, P. R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- LEITE, Paulo R. **Logística Reversa: Meio ambiente e competitividade**. 2 ed, Pearson, 2009, 240p.
- LIMA, Neemias Alves de; MACEDO, Raquel da Silva; AZEVEDO, Silvana. **LOGÍSTICA REVERSA COMO VANTAGEM E DIFERENCIAL COMPETITIVO**. 2014. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Faculdade de Ciências Gerenciais Barão de Jundiá, Jundiá, 2014.
- Martins, Roberto Antônio, Mello, Carlos Pereira, Turrioni, Joao Batista. **Guia para elaboração de monografia e TCC em engenharia de produção**. Atlas, 10/2013. [Minha Biblioteca].
- PEREIRA, André L. Cláudio; BOECHAT, Hugo Ferreira; Tadeu, JERSONE Tasso Silva. **Logística Reversa e Sustentabilidade**. Cengage Learning Editores, 10/2012. [Minha Biblioteca].
- Prefeitura de Embu das Artes. **Coleta de lixo**. Disponível em: <<http://cidadeembudasartes.sp.gov.br/embu/portal/pagina/ver/2561>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- Prefeitura de Embu das Artes. **Como chegar na Estância Turística de Embu das Artes**. Disponível em: <<http://cidadeembudasartes.sp.gov.br/embu/portal/pagina/ver/200>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- PREFEITURA DE EMBU DAS ARTES. **Localização Territorial**, [2017]. Embu das Artes. Disponível em <<http://cidadeembudasartes.sp.gov.br/embu/portal/pagina/ver/209>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- PREFEITURA DE EMBU DAS ARTES. **População**, [2017]. Embu das Artes. Disponível em <<http://cidadeembudasartes.sp.gov.br/embu/portal/pagina/ver/205>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- ROSA, Matheus Garcia. **Estudo comparativo de telhas produzidas a partir de embalagens multicamadas pós-consumo**. 2015. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/132655>>. Acesso em: 01 out. 2017.
- SÃO PAULO. Lei n. 12.300, de 16 de mar. de 2006. **Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes**. Da Política Estadual De Resíduos Sólidos. Disponível em: <<http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/2006/lei-12300-16.03.2006.html>>. Acesso em: 05 abr. 2017.
- TETRA PAK. **Material da embalagem**. Disponível em: <<http://www.tetrapak.com/br/packaging/materials>> . Acesso em: 28 mai. 2017.
- TETRA PAK. **Quarto relatório bienal de sustentabilidade da Tetra Pak Brasil**. Disponível em

<<http://www.tetrapak.com/br/sustainability/reciclagem-no-brasil>>. Acesso em: 25 mai. 2017.

TETRA PAK. **Reciclagem**. Disponível em: <<http://www.tetrapak.com/br/sustainability/recycling>>. Acesso em: 22 mai. 2017.

TETRA PAK. **Tetra Pak em números**. Disponível em: <<http://www.tetrapak.com/br/about/facts-figures>>. Acesso em: 24 mai. 2017.

Toigo, Rafael; Filho, Adhemar M. Valle; Lavratti, Fábio Beylouni. **Sistema de Roteirização de Entregas**. Santa Catarina, 2007.

VALLE, Rogerio; SOUZA, Ricardo Gabbay (Orgs.). **Logística reversa: processo a processo**. Atlas, 11/2013. [Minha Biblioteca].

WU, Luciele. **O problema de roteirização periódica de veículos**. São Paulo, 2007

XAVIER, Lúcia Helena; Corrêa, Henrique Luiz . **Sistemas de logística reversa: criando cadeias de suprimento sustentáveis**. Atlas, 08/2013. [Minha Biblioteca].

ZORTEA, Rafael Batista. **As "caixinhas" longa vida são ou não recicláveis?**. Rio de Janeiro. 2013. Disponível em <<https://www.ufrgs.br/sustentabilidade/?p=104>>. Acesso em: 29 out. 2017.

AES BRASIL. **Recicle Mais, Pague Menos**. 2015. Disponível em: <<http://aesbrasilsustentabilidade.com.br/pt/noticias/item/recicle-mais-pague-menos>>. Acesso em: 19 out. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 51, de 20 de setembro de 2002. Aprova os regulamentos técnicos de produção, identidade e qualidade do leite. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, p. 13, Seção 1, 21 set. 2002. Disponível em: <https://www.defesa.agricultura.sp.gov.br/legislacoes/instrucao-normativa-51-de-18-09-2002,654.html>. Acesso em: 15 out. 2017.