10.30612/agrarian.v12i45.9214

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Roteirização do recolhimento de embalagens vazias de agrotóxicos utilizando metodologias clássicas

Routing for pesticide empty package collection using established methodologies

Karina Braga Marsola[1], Andréa Leda Ramos de Oliveira[2]

[1,2] Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP, Av. Cândido Rondon, 501, Campinas, CEP: 13083-875.
Email: braga.marsola@gmail.com

Recebido em: 27/12/2018 Aceito em:25/02/2019

Resumo: A logística reversa de embalagens vazias de agrotóxicos no Brasil, possui uma taxa de retorno de 94%, o maior índice mundial. Para que a logística seja eficiente é necessário que as rotas percorridas estejam otimizadas a fim de evitar gastos desnecessários que possam prejudicar o sistema. Neste trabalho é apresentada a aplicação de duas metodologias clássicas de roteirização: Clarke & Wright e Gillett & Miller. Estes métodos foram utilizados com a finalidade de encontrar as rotas mais eficientes na logística reversa de embalagens vazias de agrotóxicos. As rotas são responsáveis por ligarem os quinze postos de estudo a uma única central de recebimento, todas no Estado de São Paulo. A exploração do tema se deu sob forma de experimento numérico e obteve como resposta uma diferença de 4,9% entre a distância total percorrida por meio das metodologias, sendo que a solução ótima foi obtida com o método Clarke & Wright.

Palavras-chave: Clarke & Wright, Gillett & Miller, método das economias, método da varredura, rotas

Abstract: Reverse logistics of empty packages in Brazil has a return rate of 94% making it the most successful in the world. In order to have an efficient logistics system it is important to optimize routes, avoiding unnecessary transportation costs. In this work, two classic routing methodologies are employed, Clarke & Wright e Gillett & Miller. These methodologies were compared to obtain the most efficient routes for empty pesticide packages reverse logistics. The routes connect fifteen study posts and one central collection post, all of which are in São Paulo. A numerical experiment was performed and the Clarke & Wright methodology outperformed Gillett & Miller by 4,9% in the total distance travelled

Keywords: Clarke & Wright, Gillett & Miller, heuristic, routes

Introdução

A logística reversa brasileira de embalagens vazias de agrotóxicos é referência mundial, uma vez que 94% das embalagens são destinadas para a reciclagem (INPEV; 2016). Nacionalmente, é atribuída ao produtor a responsabilidade pela devolução das embalagens, de acordo com as instruções dos Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (INPEV). Os estabelecimentos comerciais devem dispor de local adequado para o recebimento das embalagens. Os postos são unidades de recebimento que recebem e classificam; as centrais são unidades que recebem, classificam e compactam as embalagens vazias (INPEV; 2016). A parceria entre agricultores, indústria e revendedores de forma mútua determinam a alta performance da cadeia (OLIVEIRA e CAMARGO; 2014).

Para a logística reversa das embalagens vazias se faz necessário a determinação de uma trajetória eficiente que atenda os postos, centrais, recicladoras e incineradoras. Os postos apenas recebem dos produtores as embalagens vazias, as centrais por sua vez, recebem tanto a carga oriunda dos postos, produtores e recolhimentos itinerantes e as direciona para recicladoras ou incineradoras. Portanto, uma embalagem vazia se desloca no mínimo duas vezes, quando sai do produtor e vai para a central e no máximo três vezes, quando sai do produtor e vai para o posto que direciona para a central.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

O termo roteirização refere-se ao processo de determinação de um ou mais roteiros, que podem incluir paradas a serem cumpridas pelo veículo da frota, incorporando aspectos temporais, o que compõe uma rota (CUNHA; 2000). A caracterização da rota se dá por ter *n* clientes, representados por *nós* ou *arcos* que deverão ser servidos pela frota, objetivando alto nível de serviço ao cliente e assegurando as despesas de operação e investimento o mais baixo possível. Trata-se, portanto, de ferramenta efetiva de aprimoramento de composição de custos.

A roteirização pode ser planejada de acordo com alguns algoritmos, entre eles Clarke & Wright (CLARKE e WRIGHT; 1964) e Gillett & Miller (GILLETT e MILLER; 1974). Clarke & Wright, ou método das economias, trata-se de uma das primeiras metodologias propostas para a solução de problemas de roteirização e um dos mais utilizados em pacotes de roteamento comercial (ALTINEL e ÖNCAN; 2005). É considerado ideal para problemas isolados e se baseia no conceito das economias. O método apresenta boa flexibilidade para uma faixa ampla de restrições e soluções próximas da ótima (GOMES e RIBEIRO; 2013).

O algoritmo de Gillett & Miller, também conhecido como método da varredura, é um método simples, que possibilita um cálculo fácil e não requer a aquisição de tecnologias específicas. É possível executá-lo em roteiros não muito grandes de forma manual. Apresenta boa solução, porém, comparativamente com outros modelos, é menos preciso, sendo aceitável em situações onde é necessário obter resultados em um curto espaço de tempo (SOUZA et al.; 2016). Os erros médios para a metodologia de Clarke & Wright é de 2%, enquanto para a metodologia de Gillett & Miller é de 10% (BALLOU; 2009). Ambas metodologias são designadas como heurísticas, isto é, de abordagem intuitiva, na qual a estrutura do problema pode ser interpretada e explorada. O modelo prevê a obtenção de solução individual para cada tipo de questão, não cabendo a mesma solução para problemas similares (CUNHA; 2000). Assim, foram realizadas simulações através dos dois métodos, considerando quinze postos de recebimento de embalagens que encaminham toda a sua carga para uma mesma central, com a finalidade de encontrar a rota ótima.

Material e Métodos

Com base no INPEV (2017) foi possível coletar as informações sobre a localização de postos e localização de central. A demanda de embalagens vazias foi estimada de acordo com a produção local. Foram aplicadas as metodologias clássicas de roteirização, Clarke & Wright e Gillett & Miller, onde origem e destino são representados por um mesmo local, São Manuel, central de recebimento, isto é, a unidade recebe as embalagens não compactadas, separa, compacta, enfarda e direciona para recicladoras ou incineradoras.

Ambas heurísticas são aplicadas a partir de restrições básicas do problema, que no caso dessa pesquisa foram:

i. Cada rota se inicia e termina na central de São Manuel;
ii. Há um caminhão com capacidade de 8 toneladas disponível para todas as rotas;
iii. Cada posto é atendido por uma única rota;
iv. A demanda total dos postos não excede a capacidade do caminhão;
v. A rota não precisa ser cumprida em uma jornada de trabalho do motorista.

Como as embalagens ainda não estão compactadas, um caminhão com capacidade de 8 toneladas, consegue apenas alocar 1,5 toneladas de embalagens vazias. Na Tabela 1, está apresentado o valor estimado com base na produção adjacente aos postos de recolhimento.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Tabela 1- Quantidade estimada de embalagens processadas por mês.

Nomenclatura	Município	Quantidade de embalagens (Kg)
B	Atibaia	550
C	Biritiba-Mirim	270
D	Divinolândia	300
E	Holambra	510
F	Ibiúna	400
G	Itaberá	210
H	Itapetininga	330
I	Itupeva	400
J	Jaú	800
K	Mogi-Guaçu	290
L	Pirassununga	300
M	Pilar do Sul	270
N	Porto Feliz	340
O	Taquarituba	440
P	Valinhos	360

Algoritmo de Clarke & Wright

A localização dos postos (*nós*) e de suas respectivas distâncias (*d*) em quilômetros, é a primeira etapa da metodologia heurística de Clarke & Wright. A composição de todas as distâncias foi calculada através do visual basic for aplication (VBA) no Microsoft Excel que buscou informações de distância através do API Google, (GOOGLE; 2017). Foi feito um setup para obter o menor tempo de deslocamento entre as cidades, o resultado é a primeira etapa do algoritmo.

O método de Clarke & Wright é baseado no conceito de ganho, no qual primeiro é considerada a situação menos desejável: o veículo faz uma entrega e volta para o centro de distribuição (CD), desta forma, para atender todos os clientes seria necessária uma grande quantidade de veículos, mão de obra e combustível. Alternativamente, se verifica a viabilidade de unir esses clientes em uma única rota, o que gera economia de percurso (GOMES e RIBEIRO; 2013). A segunda etapa da metodologia consiste em computar essas economias (S_{ij}), através das distâncias (*d*) fornecidas na matriz anterior entre os nós *i* e *j* ao posto central, representado por H:

$$S_{ij} = d_{Hi} + d_{Hj} - d_{ij} \quad (i,j = 2,3,4,\dots,n) \quad (1)$$

A terceira etapa foi a aplicação da abordagem paralela para a metodologia, isto é, a busca pelas rotas otimizadas, que se dá pela verificação das economias a partir da organização destas em ordem decrescente, formando-se os pares de rotas. Como o objetivo é maximizar a quantidade de carga deslocada, os pares de rotas foram estendidos para grupos, formando-se as rotas otimizadas para o processo, compondo a quarta etapa. A última etapa do processo consistiu em ilustrar as rotas no mapa.

Algoritmo de Gillett & Miller

O método de Gillett & Miller (GILLETT e MILLER; 1974) busca formar rotas de acordo com a localização dos pontos mais próximos. Trata-se de um método que contempla duas fases: *cluster-first* e *route-second* (agrupar primeiro e roteirizar depois).

Para a aplicação deste método nesse estudo de caso, foi traçado um eixo passando pelo centro de distribuição (CD) central – São Manuel. Esse vértice arbitrário (*i**) é representado pelas suas coordenadas polares (θ_i, ρ_i), onde θ_i representa o ângulo e ρ_i o comprimento do raio (Figura 1). Foi aplicado o valor de $\theta_i = 0$ para definirmos esse vértice. Os ângulos seguintes foram computados a partir do arco (0,*i**) e foram selecionados os postos no sentido anti-horário,

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

verificando se estes poderiam ser incluídos na formação das rotas, obedecendo as restrições básicas do estudo já citadas anteriormente.

Para cada rota foi aplicada a metodologia de melhoria do movimento de realocação, que consiste na retirada de um posto de uma rota na tentava de inseri-lo na próxima rota buscando minimizar a distância total.

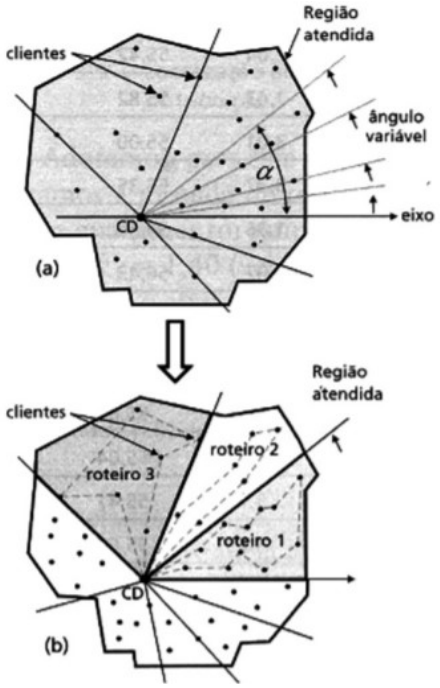


Figura 1 – Método de Gillett & Miller. Fonte: Novaes, 2015

Resultados e Discussão

A resposta da primeira etapa do algoritmo de Clarke & Wright foi a matriz distância com todas as combinações entre postos e central de recolhimento. Os resultados apresentados na Tabela 2 correspondem ao menor deslocamento entre os postos.

A segunda etapa do processo corresponde aos cálculos de ganhos ou economias, na qual foram realizadas todas as possibilidades de combinações entre os postos como origens (*i*) e destino Central São Manuel (*j*). O valor da Tabela 3 corresponde aos ganhos e está diretamente relacionado com a sequência da rota.

As combinações que apresentam os maiores valores de economia foram selecionadas e organizadas em ordem decrescente. A partir desses pares, foi possível expandi-los e formar rotas maiores, de acordo com os ganhos. Com os resultados obtidos, foi possível traçar cinco rotas partindo e voltando para São Manuel (Figura 2). As rotas passam por todos os postos uma única vez, cumprindo as premissas básica do processo.

Os pontos das rotas da Figura 2 correspondem a real localização das cidades e determinam os postos de recebimento, entretanto as conexões traçadas em preto, não correspondem ao meio de acesso real.

A partir de um sistema de coordenadas com origem no vértice Q (Figura 3), que corresponde ao CD São Manuel, foi aplicado o algoritmo de Gillett & Miller juntamente com a metodologia de melhoria de movimento, foi possível ilustrar as rotas que satisfazem todas as premissas básicas. Da mesma forma que a Figura 2, os pontos que compõe as rotas correspondem a real localização das cidades, entretanto as conexões traçadas em preto não correspondem ao meio de acesso real.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

Tabela 2 – Distância (Km) entre os postos e a central de recolhimento de embalagens vazias

Cidades	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
B	0	125	231	91,2	129	376	236	74,8	271	124	190	202	141	380	60,7	252
C		0	350	229	194	398	259	146	372	262	290	224	193	402	193	333
D			0	142	300	488	348	209	256	108	101	314	248	411	178	294
E				0	166	354	214	75,6	192	39,6	119	180	119	358	44,5	198
F					0	270	131	126	288	199	238	72,3	91,6	301	129	232
G						0	153	312	217	385	348	178	251	46,8	316	167
H							0	171	217	244	245	73,2	109	154	174	161
I								0	244	107	158	139	75,8	314	38	244
J									0	211	148	265	223	168	224	54,2
K										0	86,6	212	151	390	76,3	215
L											0	255	165	302	139	184
M												0	105	224	143	222
N													0	231	79,4	161
O														0	320	121
P															0	205
Q																0

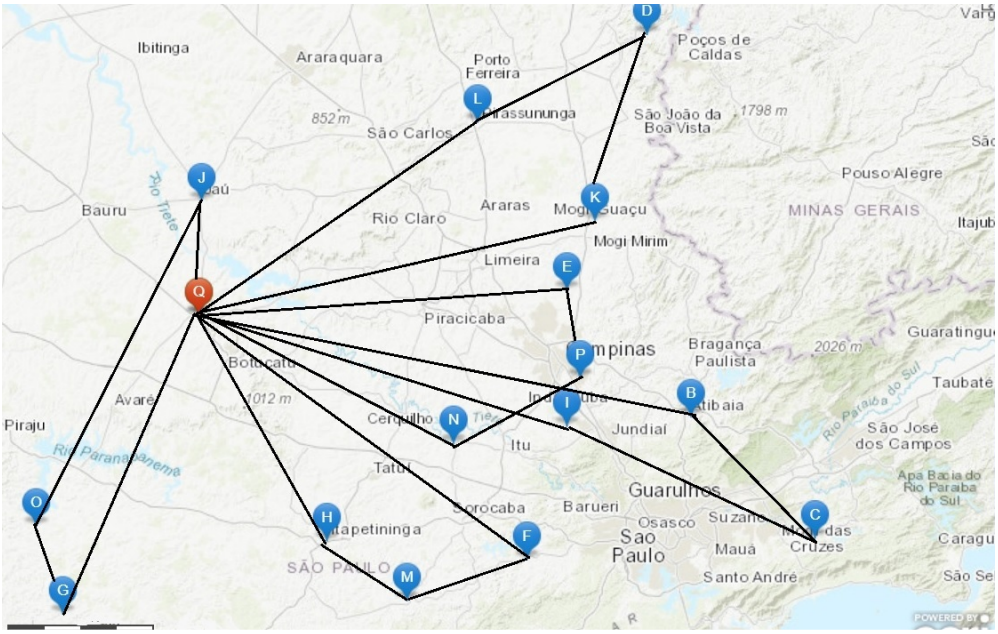
Legenda: (B) Atibaia; (C) Biritiba-Mirim; (D) Divinolândia; (E) Holambra; (F) Ibiúna; (G) Itaberá; (H) Itapetininga; (I) Itapeva; (J) Jaú; (K) Mogi-Guaçu; (L) Pirassununga; (M) Pilar do Sul; (N) Porto Feliz; (O) Taquaritiba; (P) Valinhos; (Q) São Manuel.

Tabela 3 – Matriz das economias entre postos e central

Cidades	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
B	460	315	358,	355	43	177	421,	35,2	343	246	272	272	-7	396,
C		-389	302	371	102	235	431	15,2	286	227	331	301	52	345
D			350	226	-27	107	329	92,2	401	377	202	207	4	321
E				264	11	145	366,	60,2	373,	263	240	240	-39	358,
F					129	262	350	-1,8	248	178	381,	301,	52	308
G						175	99	4,2	-3	3	211	77	241,	56
H							234	-1,8	132	100	309,	213	128	192
I								54,2	352	270	327	329,	51	411
J									58,2	90,2	11,2	-7,8	7,2	35,2
K										312,	225	225	-54	343,
L											151	180	3	250
M												278	119	284
N													51	286,
O														6

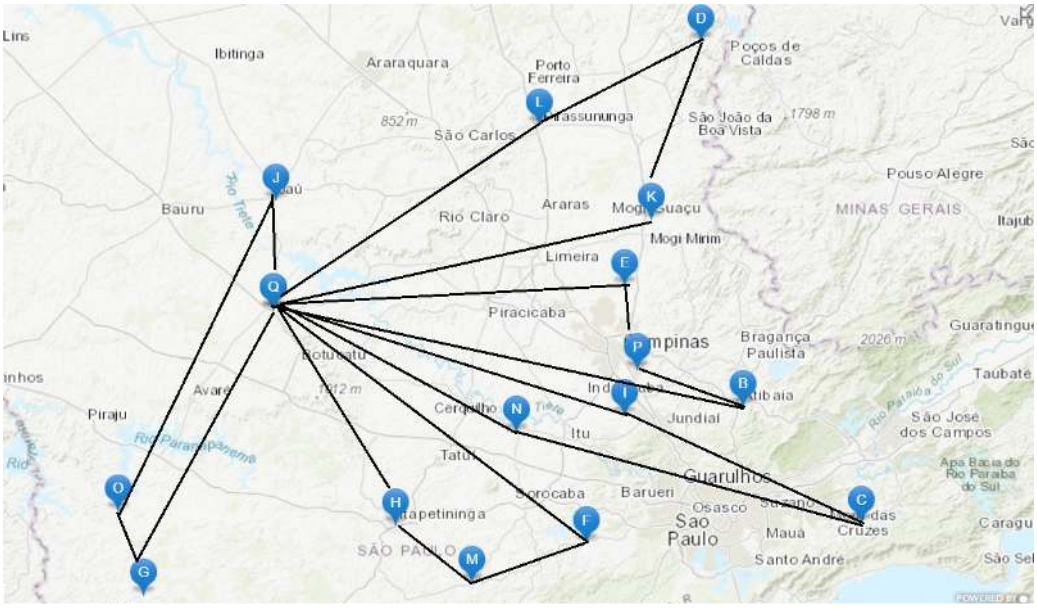
Legenda: (B) Atibaia; (C) Biritiba-Mirim; (D) Divinolândia; (E) Holambra; (F) Ibiúna; (G) Itaberá; (H) Itapetininga; (I) Itapeva; (J) Jaú; (K) Mogi-Guaçu; (L) Pirassununga; (M) Pilar do Sul; (N) Porto Feliz; (O) Taquaritiba; (P) Valinhos; (Q) São Manuel.

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538



Legenda: B = Atibaia; C = Biritiba-Mirim; D = Divinolândia; E = Holambra; F = Ibiúna; G = Itaberá; H = Itapetininga; I = Itupeva; J = Jaú; K = Mogi-Guaçu; L = Pirassununga; M = Pilar do Sul; N = Porto Feliz; O = Taquarituba; P = Valinhos; Q = São Manuel

Figura 2 – Rotas segundo a metodologia de Clarke & Wright



Legenda: B = Atibaia; C = Biritiba-Mirim; D = Divinolândia; E = Holambra; F = Ibiúna; G = Itaberá; H = Itapetininga; I = Itupeva; J = Jaú; K = Mogi-Guaçu; L = Pirassununga; M = Pilar do Sul; N = Porto Feliz; O = Taquarituba; P = Valinhos; Q = São Manuel

Figura 3 – Rotas segundo a metodologia de Gillett & Miller

A composição de cada rota é demonstrada na Tabela 4. Podemos observar que as metodologias propuseram a mesma quantidade de rotas e a mesma quantidade de cidades atendidas por rota. As Rota II, III e V provenientes da metodologia de Clarke & Wright são iguais as Rotas V, II e I da metodologia de Gillett & Miller.

A resolução do caso utilizando a

Revista Agrarian
ISSN: 1984-2538

metodologia de Clarke & Wright se mostrou mais eficiente do que a resposta utilizando a metodologia de Gillett & Miller, pois propôs uma rota com menor distância e menos tempo de percurso, otimizando o aproveitamento máximo do frete. Para todas as rotas, o carregamento do máximo do caminhão é respeitado. Através da Tabela 5 é possível comparar as duas metodologias por rota. O total percorrido por todas as rotas, por meio das duas metodologias, apresenta uma diferença de 4,9% na quilometragem total para atender todos os postos.

Destaca-se que apenas a Rota I calculada através da metodologia proposta por Clarke & Wright não obteve o melhor resultado comparada com a metodologia de Gillett & Miller. A Rota V apresentou o maior ganho no comparativo entre as metodologias, 41,4%, com uma diferença de 178 km a menos. Ressalta-se que a Rota III é responsável pela maior diferença na distância percorrida entre as rotas, 182 km. A Rota menos expressiva na composição dos ganhos foi a Rota II, com 5,1% de ganho, correspondente a 29 km.

Tabela 4 - Postos atendidos por rota

Rotas	Postos (Clarke & Wright)	Postos (Gillett & Miller)
Rota I	Q-I-C-B-Q	Q-J-O-G-Q
Rota II	Q-K-D-L-Q	Q-H-M-F-Q
Rota III	Q-H-M-F-Q	Q-N-C-I-Q
Rota IV	Q-N-P-E-Q	Q-B-P-E-Q
Rota V	Q-J-O-G-Q	Q-K-D-L-Q

Tabela 5 - Quilometragem por rota

Rotas	Gillett & Miller (Km)	Clarke & Wright (Km)	Ganho
Rota I	439	770	-43,0%
Rota II	600	571	5,1%
Rota III	747	565	32,2%
Rota IV	559	480	16,5%
Rota V	608	430	41,4%
Total	2953	2816	4,9%

Um sistema de transporte eficiente, contribui para uma economia em escala, redução dos preços e, consequentemente, maior competitividade (OLIVEIRA et al.; 2015). Estimando-se que cada posto é atendido apenas uma vez ao mês, ao final de um ano, poderiam ser economizados mais de mil quilômetros e três dias úteis de trabalho, apenas aplicando uma metodologia mais eficiente de roteirização. Podemos inferir que além da economia de tempo e quilômetros percorridos, outros fatores estão diretamente ligados, como: redução na manutenção do caminhão, emissão de gases poluentes, quantidade de combustível, desgaste do pneu e pedágios.

Conclusão

Neste trabalho foi simulado a roteirização do frete de retorno de embalagens de agrotóxicos vazias, considerando-se a limitação de um caminhão para toda a rota, uma única visita em cada posto, saída e chegada na central de São Manuel e não ultrapassando a capacidade máxima do caminhão. A roteirização baseada no método Clarke & Wright é mais eficiente, proporcionando menores distâncias e tempo, otimizando o aproveitamento do frete.

Referências

ALTINEL, I. K.; ÖNCAN, T. A new enhancement of the Clarke and Wright savings heuristic for the capacitated vehicle routing problem. **Journal of the Operational Research Society**, v. 56, n. 8, p. 954–961, 2005.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 5. ed. [s.l.] Bookman, 2009.

CLARKE, G.; WRIGHT, J. W. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery Points. **Operations Research**, v. 12, n. 4, p. 568–581, 1964.

CUNHA, C. Aspectos práticos da roteirização**. Revista Anpet Transportes**, v. 8, n. 2, p. 51–74, 2000.

GILLETT, B. E.; MILLER, L. R. A Heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem. **Operations Research**, v. 22, n. 2, p. 240–249, 1974.

GOOGLE. API Google. Disponível em: <https://developers.google.com/products/> Acessado em: 11/10/2017.

GOMES, C. F. S.; RIBEIRO, P. C. C. **Gestão da Cadeia de Suprimentos Integrada a Tecnologia da Informação**. 2. ed. Brasil: Thomson, 2013.

INPEV. **Relatório da Sustentabilidade**. Disponível em: <https://www.inpev.org.br/relatorio-sustentabilidade/2016/pt/index.html>. Acessado em: 04/03/2018.

INPEV. **Unidades de Recebimento**. Disponível em: <http://inpev.org.br/logistica-reversa/unidades-recebimento/> Acessado em: 10/11/2017.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Distribuição**. 4. ed. [s.l.] Elsevier, 2015.

OLIVEIRA, A. L. R. DE; CAMARGO, S. G. C. DE. Logística Reversa de Embalagens de Agroquímicos: Identificação dos Determinantes de Sucesso. **Interciência**. v. 39, n. November, p. 780–787, 2014.

OLIVEIRA, A. L. R. DE *et al.* Estratégia Logística do milho brasileiro e a pratica da intermodalidade: uma avaliação de rotas selecionadas. **Produção & Engenharia**, v. 1, p. 613–622, 2015.

SOUZA, A. W. *et al.* Aplicação do método de varredura na roteirização de frota em uma empresa de transporte e distribuição de cargas fracionadas. **Exacta**, v. 14, n. 1, 2016.