

## Utilizando softwares livres na otimização das rotas de transporte

Eduardo Sganderla, Everton Coimbra de Araújo, Claudio Leones Bazzi

**Resumo:** A logística do setor do agronegócio vem se mostrando uma etapa importante, por envolver a otimização de rotas de transporte para o escoamento da produção ou para a distribuição dos insumos agrícolas. Neste sentido, estão surgindo vários softwares de roteirização no mercado, na sua grande maioria com alto custo de implantação, inviabilizando a sua implantação em empresas de pequeno porte. O objetivo desse trabalho é demonstrar que é possível implementar uma ferramenta utilizando tecnologias e métodos livres. Os resultados obtidos mostraram que o uso das tecnologias permitiu o georreferenciamento do cenário de atuação da agroindústria e na geração de rotas otimizadas a partir de características levantadas, trazendo uma melhor utilização da frota da empresa e consequentemente ajudando na redução dos custos no transporte.

**Palavras chave:** Geoprocessamento, Roteirização, Postgis.

### Using free software for transport route optimization

**Abstract:** The logistics of the agribusiness sector has been showing an important stage, involving the optimization of transport routes for the production flow or for the distribution of agricultural inputs. In this sense, several routing software are emerging in the market, most of them with high implementation cost, making it impossible to implement in small companies. The purpose of this paper is to demonstrate that it is possible to implement a tool using free tools and methods. The selected results that use the use of permitted technologies or georeferencing of agroindustry performance scenario and the generation of optimized routes from the raised resources, bring a better utilization of the company and consequently use cost reduction in transportation.

**Key-words:** Geoprocessing, Routing, Postgis.

#### 1. Introdução

A “logística” tem recebido a atenção de inúmeros trabalhos científicos, em especial estudos que auxiliem a redução de custo de tempo e dinheiro durante o processo, que segundo Buller (2012), pode chegar a dois terços dos custos totais em determinados segmentos. Neste sentido, a otimização da frota pode ampliar o lucro da empresa pelo simples fato de se optar por rotas menos custosas do ponto de vista prático e financeiro.

Para Galvão (2003), a otimização do sistema de roteirização e programação deve ser planejada e dimensionada nos níveis estratégicos e táticos, nos quais ocorre a definição de composição da frota e zoneamento. Além dessas observações, Valente et al. (2003) acrescentam que é necessário examinar a capacidade de carga dos veículos de transporte e distribuição, a fim de evitar desperdício de recursos.

Dentre as inúmeras aplicações viáveis, uma que merece destaque é o transporte de produtos oriundos do meio agrícola, como leite, grãos, frutas, verduras entre outros.

Atualmente boa parte da produção agrícola precisa ser diariamente transportada de seu ambiente produtivo para agroindústrias, que são responsáveis pelo beneficiamento da matéria-prima, dando origem a diversos produtos. Este transporte diário se faz necessário devido ao volume produzido e para a manutenção da qualidade dos produtos.

Além das questões relacionadas ao cuidado no transporte, Correia et al. (2010) ressaltam que a utilização das técnicas de logística de transporte da produção agroindustrial também contribui para um melhor desempenho competitivo de pequenos processadores de matéria-prima a fim de garantir a sua competitividade, redução de custos e garantia da qualidade do produto. Para evitar gastos desnecessários, a otimização da coleta e a distribuição de produtos, Brasileiro et al. (2008) explica que as rotas dos veículos podem ser definidas utilizando técnicas matemáticas que fazem uso de algoritmos para a roteirização. Esse tipo de aprimoramento permite definir rotas viáveis de transporte, considerando as características de cada local a fim de otimizar a distância e o tempo gasto em cada viagem.

Neste contexto, o presente trabalho visa apresentar tecnologias e métodos livres que podem ser utilizadas para resolver problemas logísticos no transporte de produtos agrícolas. Tais tecnologias foram aplicadas em um contexto agroindustrial, e contemplou a elaboração de um plano de trabalho para uma agroindústria que possui frota própria para coleta de leite in natura a granel em propriedades rurais na região Oeste do Estado do Paraná, porém as tecnologias e metodologias utilizadas no trabalho podem ser customizadas e implementadas para qualquer agroindústria que realiza a recolha ou a distribuição de matéria-prima em propriedades rurais.

## 2. Logística

Para o Council of Logistics Management - CLM (2012), a logística é definida como um processo de planejamento, implementação e controle do fluxo efetivo, e armazenagem dos produtos e serviços. Tal termo foi muito utilizado no contexto militar, estando ligado essencialmente às operações militares, o deslocamento das tropas, suprimento de munição, alimentos e equipamentos, além da necessidade de estratégias para a realização de socorro médico aos feridos em campo (Buller, 2012; Novaes, 2015).

Após reconhecerem sua importância no segmento militar, o uso da logística no meio civil foi impulsionado na década de 1940, sendo inserido como uma ferramenta de gestão no ambiente de negócios (Silva; Musetti, 2003). Neste sentido, a literatura apresenta notórios avanços em questões relacionadas ao âmbito empresarial, fazendo uso da logística. Segundo Ballou (1993), a aplicação dessa nova forma de gestão se deu, em especial, devido a fatores como as alterações dos padrões e atitudes da demanda dos consumidores, a necessidade de redução dos custos dos produtos finais, e os avanços tecnológicos.

Com os avanços tecnológicos e o surgimento de novas formas de gestão, as empresas passaram a dar mais atenção para a gestão de seus suprimentos e ao conjunto de procedimentos relativos ao fluxo de materiais, sendo que a partir do surgimento da manufatura, a logística passou a ter uma nova perspectiva, abrangendo todas as etapas da cadeia (Campos 2009; Kaminsky; Simchi - Levi, 2010; Novaes, 2015).

A logística empresarial moderna, no ponto de vista de Christopher (2012), é o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, a movimentação, a estocagem de materiais e produtos acabados.

Segundo Bowersox et al. (2014), o transporte é a área operacional da logística que movimenta e posiciona os estoques geograficamente, sendo considerado um dos mais importantes quesitos em relação ao planejamento de rede logística (BOWERSOX; CLOSS, 2001), pois as decisões tomadas nessa etapa causam impacto direto na lucratividade, sendo que normalmente pelo menos cerca de 60% do custo logístico está relacionado aos serviços de

transporte (Ballou, 2006).

É notório que o uso de recursos de Tecnologia da Informação tem auxiliado no processo de gestão de frotas e processos logísticos. Para Meixell e Norbis (2008), sem a utilização da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) não seria possível atingir resultados tão expressivos quando de sua aplicação em situações reais. Por meio do desenvolvimento tecnológico, tornou-se possível gerenciar a logística de empresas ou sistemas produtivos, como um processo integrado e coordenado às diversas atividades operacionais, sustentando a prioridade na eficiência da cadeia como um todo (Bransk; Laurindo, 2013).

### 3. Roteirização

A roteirização tem como objetivo a definição de rotas e viabilizar o transporte de algo de um local para outro. Para Campbell et al. (2002), que trabalharam com transporte de cargas, a roteirização consiste em selecionar as rotas de menor custo de transporte, de maneira que as necessidades de todos os clientes sejam atendidas e as restrições de capacidade de veículos sejam respeitadas.

De acordo com Galvão (2003), o gerenciamento da distribuição física se dá nos níveis estratégico, tático e operacional. Para que a otimização da distribuição seja eficaz, o sistema de roteirização e programação devem ser bem planejados e bem dimensionados nos primeiros níveis (estratégico e tático).

Brasileiro et al. (2008) explicam que as rotas de veículos podem ser definidas utilizando métodos empíricos ou técnicas matemáticas que fazem uso de algoritmos para a roteirização, sendo os métodos heurísticos os mais utilizados para solucionar problemas de roteirização, tais como o algoritmo de Dijkstra (Pacheco, 2016), que calcula a melhor rota em função do caminho de custo mínimo entre vértices, considerando a analogia de um grafo que representa a situação real a ser aplicada.

### 4. Tecnologias Utilizadas

Para o desenvolvimento do presente estudo foram utilizadas tecnologias de código aberto, sendo selecionado o Sistema Gerenciador de Banco de Dados (SGBR) PostgreSQL, versão 9.6, que possui suporte para o gerenciamento e armazenamento de georreferenciados (extensão PostGIS na versão 2.4). A extensão PgRouting 2.5 foi utilizada por permitir a utilização de funcionalidades de roteamento fazendo uso de dados espaciais.

As linguagens de programação Java e JavaScript foram utilizadas no desenvolvimento do ambiente de manipulação e processamento dos dados. Já no ambiente de estruturação de conteúdo, a linguagem HTML (HyperText Markup Language) foi utilizada pela versatilidade e facilidade de construção de páginas web (Almeida, 2002). Para a camada de apresentação, constituída por folhas de estilos, foi utilizada o CSS (Cascading Style Sheets). Devido à necessidade de se trabalhar com dados georreferenciados, a biblioteca GeoTools, versão 14.2, também foi utilizada. Como ambiente de desenvolvimento, foi utilizado a IDE Eclipse Luna, versão 4.4.1.

Imagens de satélite utilizadas para apresentação dos ambientes georreferenciados foram fornecidas pelo servidor de mapas Bing Maps, que possui licença livre para o desenvolvimento de ferramentas sem fins lucrativos e está disponível para a biblioteca OpenLayers.

### 5. Contextualização do ambiente de pesquisa

O estudo consiste no desenvolvimento de uma ferramenta utilizando tecnologias livres, que

auxilie pequenas empresas na coleta e distribuição de produtos em propriedades agrícolas. O objetivo é otimizar o uso de recursos de transporte, proporcionando dessa forma a redução dos custos operacionais. Como estudo de caso real foi utilizada a estrutura lógica de coleta de leite bovino de uma agroindústria instalada em um município da região Oeste do Paraná. Foram então obtidas informações de localização das propriedades rurais que fornecem leite in natura à agroindústria e cadastrados no sistema desenvolvido. Além disso, fazendo uso de recursos visuais implementados no sistema foram cadastradas as vias de acesso, considerando condições de cada rota, indicando a existência de pontes, pedágios, curvas perigosas, tipo de pavimentação do trecho e sentido do trânsito.

Foram ainda estabelecidas, durante a etapa de levantamento de informações, considerações acerca da execução das rotas, definindo-se parâmetros referentes a capacidade do caminhão-tanque, prioridade de vias de acesso, quantidade de leite produzida em cada uma das 49 propriedades rurais e a capacidade de armazenamento na propriedade, além de consumo médio dos veículos, considerando a presença ou não de carga.

## 6. Logica para roteirização (Dijkstra)

Tendo em vista que um dos objetivos da otimização das rotas de coleta é a redução do custo de transporte, buscou-se utilizar técnicas de identificação de rotas, em função de custos operacionais. Para tal, foi implementado o algoritmo Dijkstra (Edsger Wybe Dijkstra, 1959). Os níveis de dificuldade cadastrados para cada caminho são fatores que atribuem pesos aos nós, permitindo que apesar de o referido algoritmo levar em conta a distância mínima, o sistema foi configurado de maneira que a seleção da rota final nem sempre será baseada apenas no fator distância, buscando-se o caminho mais adequado, considerando os parâmetros de custo previamente cadastrados.

## 7. Algoritmos de roteirização

Para realizar a roteirização de maneira customizada e eficiente foram desenvolvidos dois algoritmos para a geração das rotas. O primeiro mecanismo leva em consideração a distância, em metros, entre os vértices inicial e final de um trecho, com a distância sendo calculada pelo próprio sistema no momento do cadastro de um trecho. O segundo mecanismo leva em consideração o peso atribuído pelo usuário do sistema no momento do cadastramento do trecho, com a informação sendo passível de edição conforme a necessidade do usuário. A edição do peso de um trecho é levada em consideração quando o trecho em questão sofre alguma mudança física ou estratégica.

## 8. Software desenvolvido

O sistema desenvolvido disponibiliza diversos menus para a interação com o usuário. Um deles possibilita a manipulação de dados das propriedades rurais, como localidade geográfica, nome do produtor, quantidade de animais, quantidade de leite produzido na propriedade (em litros), presença de tanque de resfriamento na propriedade e sua capacidade, e frequência de coleta do leite.

Outra funcionalidade disponibilizada pela aplicação está relacionada às Estradas, em que cada via registrada no sistema necessita de um conjunto de dados obrigatórios: sentido (único ou duplo), pavimentação, nível de dificuldade/importância do percurso (1 para sem dificuldade e muito importante; 10 para muita dificuldade e pouco importante), e ainda se possui pedágio, ponte(s) ou curva(s) acentuadas.

Após executar uma análise detalhada sobre os algoritmos, observou-se que o algoritmo de peso não estava calibrado da maneira adequada. Foi possível verificar que em algumas situações o algoritmo criava trajetos diferentes por execução. Após identificar esse problema foi realizada uma revisão dos pesos e um reponderamento dos trajetos. Na Figura 1 é possível verificar a rota antes do reponderamento.

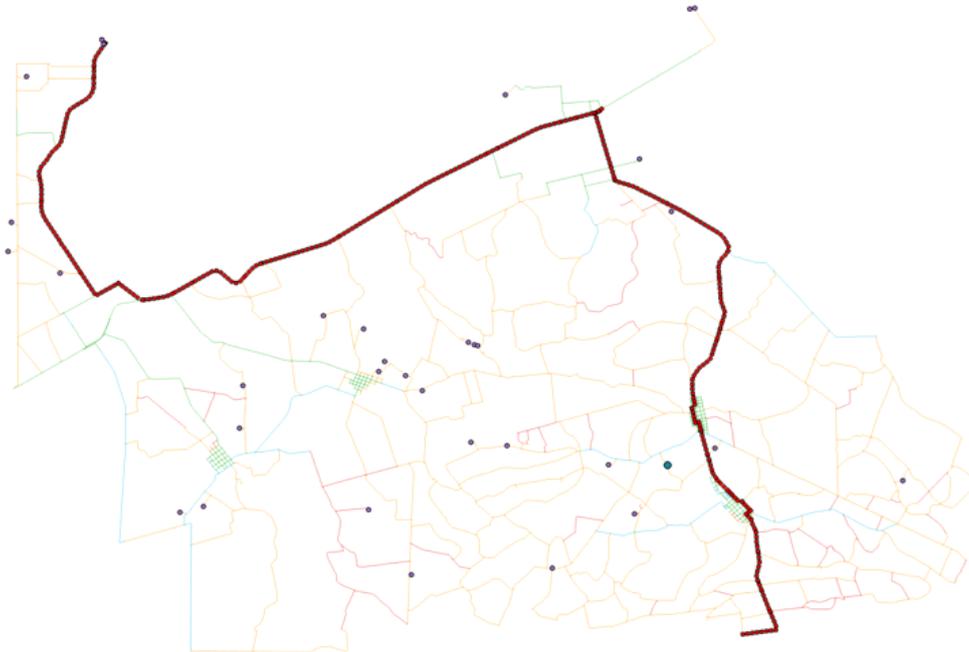


Figura 1 – Rota antes do reponderamento

Já na Figura 2 é possível verificar a rota após a revisão. Os trechos que apresentaram maior distorção estão localizados nos perímetros urbanos.

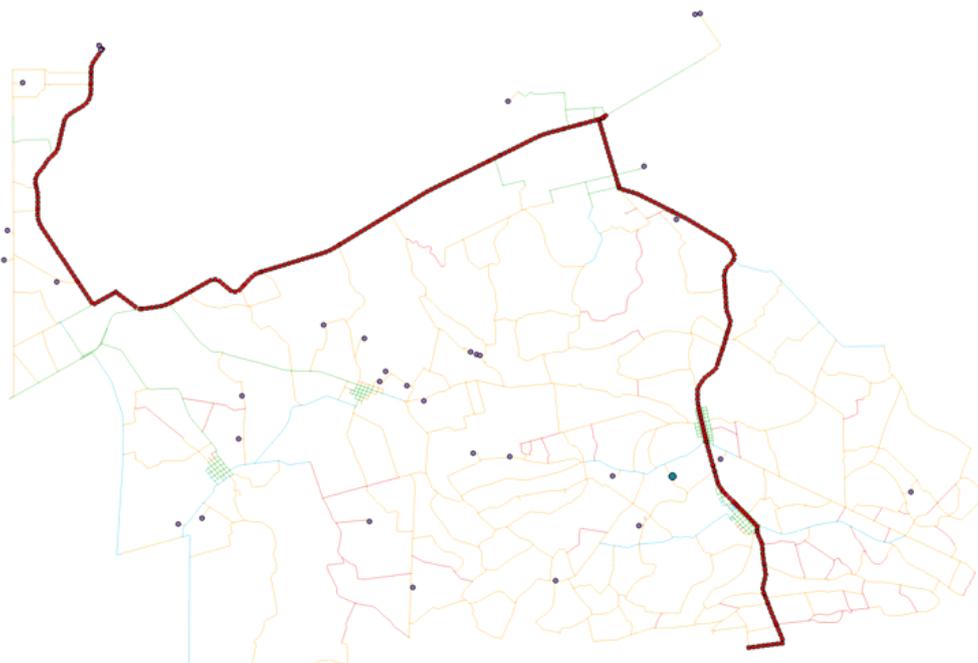


Figura 2 – Rota após do reponderamento

Outra informação fundamental para a execução das rotas é o registro dos veículos utilizados na recolha do leite in natura nas propriedades rurais. Os veículos cadastrados são vinculados a um conjunto de dados, sendo obrigatórias para a utilização da roteirização as seguintes informações: condutor, placa, capacidade de carga, consumo médio de combustível com o caminhão carregado e consumo médio de combustível com o caminhão.

### 9. Análise dos dados gerados pelo sistema

Após finalizar o desenvolvimento e de realizar a alimentação com os dados obtidos na indústria, iniciou-se a análise dos dados qualitativos das rotas geradas pelo sistema. Para realizar a análise foi selecionado das rotas executadas (selecionadas as rotas executadas?) atualmente na empresa.

Na Figura 3 é possível identificar que os pontos vermelhos representam as propriedades e o ponto verde a localidade da indústria de beneficiamento. Já as estradas estão separadas por cores, de acordo com sua pavimentação: Verde (Asfalto); Laranja (Cascalho); Azul (Pedra Irregular) e Vermelho (Terra);

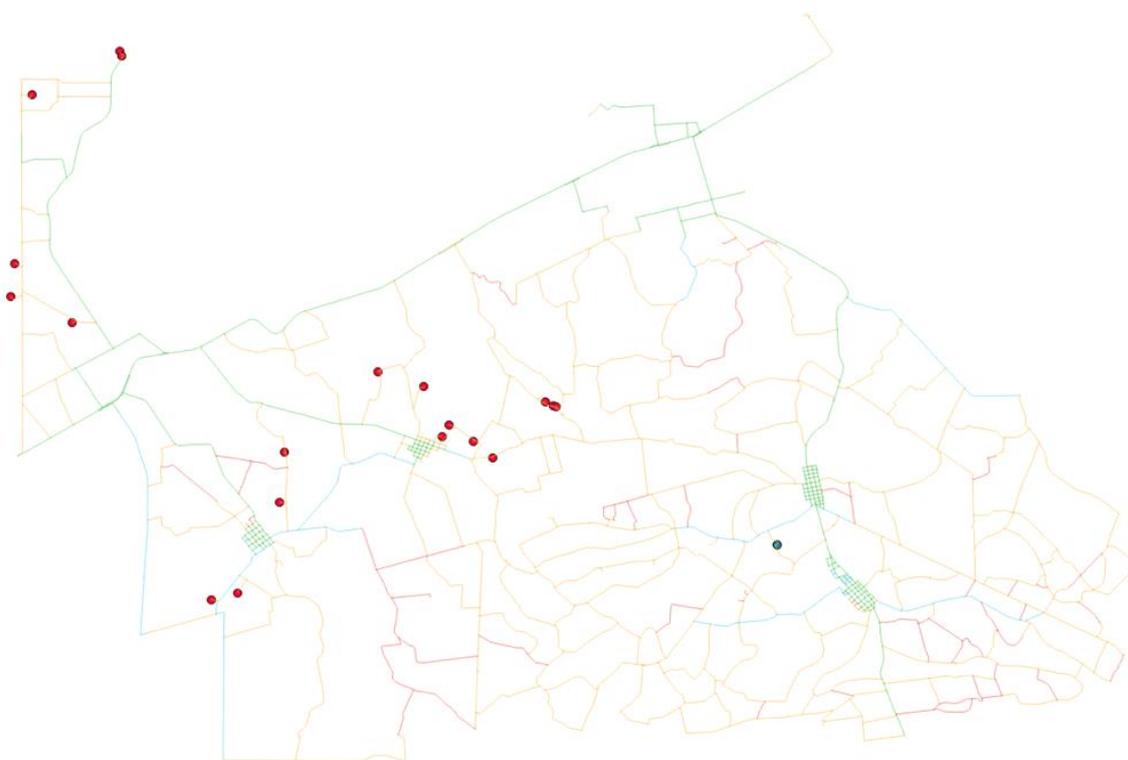


Figura 3 – Localidade das propriedades utilizadas na análise

Após identificar a localidade das propriedades, gerou-se duas rotas diferentes para o mesmo cenário: rota “A” e rota “B”, sendo que a primeira leva em consideração a distância entre os vértices (Propriedades) e a segunda leva em consideração o peso atribuído a cada vértice (Trecho). A rota “A” pode ser verificada na Figura 4A e a rota “B” pode ser verificada na Figura 4B.

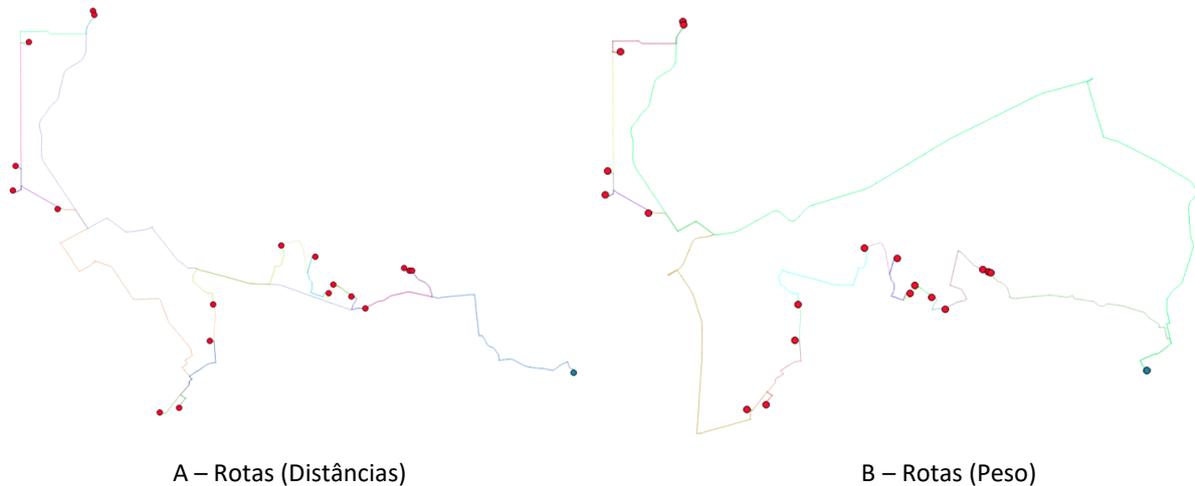


Figura 4 – Rotas

Após realizar a execução das rotas, obteve-se os seguintes dados apontados na Tabela 1 e 2, na qual as colunas estão identificadas da seguinte maneira: Propriedade, identificador único de cada propriedade; Produção, quantidade de leite sujeita a recolha de acordo com a quantidade de produção cadastrada no registro das propriedades; Distância R1, distância (em metros) percorrida durante a recolha da rota “A”; Distância R2, distância (em metros) percorrida durante a recolha da rota “B”; Consumo R1, quantidade de combustível (em litros) consumido pelo veículo para realizar a recolha na rota “A”. Consumo R2, quantidade de combustível (em litros) consumido pelo veículo para realizar a recolha na rota “B”.

Propriedade	Produção	Distância R1	Consumo R1
270	0	33225	4.778
478	150	324	0.052
137	90	4434	0.704
117	120	5959	0.981
616	180	1501	0.256
537	90	2464	0.420
146	150	14343	2.095
650	150	1961	0.334
209	90	3919	0.648
389	120	1738	0.296
651	504	6970	1.119
645	384	2909	0.495
652	1275	2516	0.428
374	360	1362	0.232
634	231	931	0.159
102	900	1346	0.229
632	360	4599	0.783
457	750	431	0.073
441	456	186	0.032
180	570	9627	1.639
Fonte: Autoria própria		100646	15.754

Tabela 1 – Informações da rota gerada a partir do algoritmo de distância (Rota A)

Propriedade	Produção	Distância R2	Consumo R2
270	0	45285	5.882
478	150	324	0.052
137	90	4334	0.704
117	120	5959	0.981
616	180	1501	0.256
537	90	2464	0.420
146	150	16659	2.626
650	150	1962	0.334
209	90	3929	0.653
389	120	1738	0.296
651	504	6970	1.119
645	384	2909	0.495
652	1275	2772	0.473
374	360	1362	0.232
634	231	931	0.159
102	900	1346	0.229
632	360	4796	0.817
457	750	413	0.073
441	456	186	0.032
180	570	11043	1.969
Fonte: Autoria própria		116901	17.801

Tabela 2 – Informações da rota gerada a partir do algoritmo de peso (Rota B)

Durante a análise dos dados levou-se em consideração os seguintes parâmetros: A capacidade de carga do caminhão é de 7500L; A média de consumo do caminhão vazio é de 7830 metros com um litro de combustível; A média de consumo de um caminhão carregado é de 3250 metros com um litro de combustível; Nos trechos em que a pavimentação é diferente da asfáltica, é necessário reduzir (reduzir?) a autonomia do veículo em 25%, ficando com 5872 metros com 1 litro de combustível para quando estiver vazio e 2437 metros com 1 litro de combustível quando estiver carregado; As rotas são executadas da propriedade mais distante da indústria de beneficiamento para a propriedade mais próxima; A próxima propriedade a ser atendida é sempre a mais próxima da propriedade atendida; Para cada litro de leite carregado nos trajetos com consumo padrão são retirados 611m da sua eficiência e para cada litro de leite carregado nos trechos com acréscimo no consumo de 25% e retirados 458m da sua eficiência.

Após finalizar a análise dos dados obtidos, observou-se os seguintes aspectos: Para executar a Rota “B” é necessário rodar 16255 metros a mais que a Rota “A”; A Rota “B” transita 19665 metros a mais que a Rota “A” sobre a pavimentação asfáltica; A Rota “B” transita 1303 metros a mais que a Rota “A” sobre a pavimentação de pedra irregular; A Rota “A” transita 4714 metros a mais que a Rota “B” sobre a pavimentação de cascalho; A Rota “A” transita 55718 metros sobre o trecho com consumo normal enquanto a Rota “B” transita 3652 metros; A Rota “A” transita 66183 metros sobre o trecho com um acréscimo no consumo de 25% enquanto a Rota “B” transita 64594; Para cada litro de leite carregado nos trechos com acréscimo no consumo de 25% e retirado 458 metros da sua eficiência (são retirados 458 metros da sua eficiência?).

Após finalizar a tabulação dos dados obtidos, identificou-se que o algoritmo que considera a distância entre as propriedades apresentou uma leve vantagem em relação ao algoritmo que considera o peso entre os vértices.

## 10. Conclusão

A ferramenta Web foi desenvolvida a partir de técnicas e tecnologias livres, disponíveis no mercado, com o propósito de atender a demanda observada no setor do agronegócio. Esta ferramenta tem como objetivo auxiliar no controle de rotas, otimizar o tempo de coleta, melhorar o gerenciamento da capacidade de carga dos veículos, possibilitar o mapeamento das estradas/propriedades rurais e reduzir os custos no processo de recolha da produção e distribuição dos insumos agrícolas.

Durante as fases de teste e implantação foram evidenciados os seguintes benefícios: Mapeamento das propriedades; Mapeamento das estradas; Redução nos tempos de coleta; Redução do custo da coleta; e Melhor entendimento do cenário de atuação.

Com os dados obtidos, tabulados e analisados, realizou-se uma avaliação de acordo com a experiência do usuário, que observou-se uma redução de 7,5% no custo do transporte; As informações das propriedades rurais, os trechos cadastrados e as rotas sugeridas pelo sistema foram aceitos e validados por retratarem a realidade do dia a dia da empresa; O sistema apresentou uma interface de fácil utilização; Com as imagens geográficas e suas informações, foi possível identificar zonas próximas a indústria que não estavam sendo atendidas e zonas distantes com baixa produção gerando assim um alto custo para baixo retorno; A empresa se demonstrou satisfeita com os resultados obtidos e pretende continuar a utilizar o sistema.

Já as tecnologias utilizadas no desenvolvimento se mostraram eficazes e de fácil aprendizagem. Os algoritmos de roteirização atenderam o objetivo esperado quanto a elaboração das rotas. No entanto, foi necessário realizar calibrações e ajustes nos pesos atribuídos aos trechos até obter um resultado satisfatório.

Ao final da pesquisa foi possível concluir que o sistema se mostrou bastante eficiente na geração, controle e manipulação das rotas, assim como no cadastro e gerenciamento da localidade das propriedades atendidas pela indústria de beneficiamento, trazendo uma visão geral e georreferenciada de cada propriedade.

## Referências

BALLOU, RONALD H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BALLOU, R. H. (2006). **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial**. Porto Alegre: Bookman.

BALLOU, RONALD H. **Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física**. Tradução: Hugo T. Y. Yoshizaki. São Paulo: Atlas, 1993.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento**. São Paulo: Atlas, 2001. p 19.

BOWERSOX, D. J; DONALD J.; CLOSS, David J.; COOPER. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. 4 ed. Revisão técnica: Alexandre Pignanelli. Tradução: Luiz Claudio de Queiroz Faria. Porto Alegre: AMGH, 2014.

BRANSKI, R.M; LAURINDO, F. J. B. **Tecnologia da informação e integração das redes logísticas**. *Gest. Prod.*, São Carlos, v.20 n.2 p. 255-270, 2013.

BRASILEIRO, LUZENIRA ALVES e LACERDA, Márcio Gonçalves. **Análise do uso de SIG no roteamento dos veículos de coleta de resíduos sólidos domiciliares.** Eng. Sanit. Ambient. 2008, vol.13, n.4, pp.356-360. ISSN 1413-4152.

BULLER, LUZ SELENE. **Logística empresarial.** Luz Selene Buller. Curitiba, PR: IESDE Brasil, 2012.

CAMPOS, L. F. R. Supply Chain: **Uma visão gerencial,** RODRIGUES L. F. C. Editora Ibpe, Curitiba 2009 p.15 -18 SLACK, N.; CHAMBERS, S.; HARLAND, C.; HARRISON, A. ; JOHNSTON, R. Administração da Produção. São Paulo: Atlas, 1997.

CHRISTOPHER, MARTIN. **Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos.** 4.ed. São Paulo: CENGAGE Learning, 2012.

CORRÊA C. C.; VELOSO A. F.; BARCZSZ S. S. **A logística de coleta e distribuição do leite como diferencial competitivo para os pequenos processadores de leite (2010).** Disponível em <<http://www.sober.org.br/palestra/15/1034.pdf>>. Acessado em 30 de nov de 2016.

COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT. **CSCMP Supply Chain Management Definitions,** 2012. Disponível em: <<https://cscmp.org/>>. Acesso 01/12/16.

GALVÃO, L. C. Dimensionamento de Sistemas de Distribuição através do Diagrama Multiplicativo de Voronoi com Pesos. 2003. Tese (Doutorado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, UFSC, Florianópolis. 175 p.

MEIXELL, M. J.; NORBIS, M. **A review of transportation mode choice and carrier selection literature.** International Journal of Logistics Management, 19(2), 183-211. 2008.

SILVA, CARLOS ALBERTO VICENTE; MUSETTI, MARCEL ANDREOTTI. **Logísticas militar e empresarial: uma abordagem reflexiva.** Revista de Administração da USP, V. 38, n. 04, São Paulo, Outubro / Novembro / Dezembro, 2003.

VALENTE, A. M.; PASSAGLIA, E.; NOVAES, A. G. **Gerenciamento de Transporte e Frota.** São Paulo, Editora Pioneira, 2003.